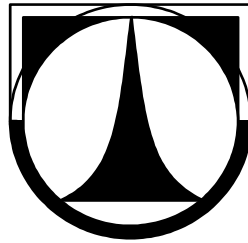


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**



**Bakalářská práce**

**Tribologické vlastnosti korozivzdorných materiálů**

**2008**

**Pavel Kolbaba**



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

## Tribologické vlastnosti korozivzdorných materiálů

## The Tribological Characteristics of the Corrosion-Resistant Materials

Pavel Kolbaba

**KSP – TP – B45**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – *TU v Liberci*  
Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – *TU v Liberci*

### Rozsah práce a příloh:

Počet stran	50
Počet tabulek	7
Počet příloh	5
Počet obrázků	36

**Datum:** 23.5.2008



# A N O T A C E

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

### Fakulta strojní

#### Katedra strojírenské technologie

#### Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program:	B2341 – Strojírenství
Student:	Pavel Kolbaba
Téma práce:	Tribologické vlastnosti korozivzdorných materiálů The Tribological Characteristics of the Corrosion-Resistant Materials
Číslo BP:	KSP – TP – B45
Vedoucí BP:	Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – <i>TU v Liberci</i>
Konzultant BP:	Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – <i>TU v Liberci</i>

#### **Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá problematikou zjišťování tribologických vlastností u korozivzdorných materiálů. Teoretická část obsahuje rozdělení nerezových materiálů, popisuje význam tření při tváření a charakterizuje tribologii a tribologické zkoušky.

V experimentální části jsou realizovány tribologické testy dle specifikovaných technologických podmínek a jejich hodnocení je provedeno na základě koeficientu tření, stanoveného jako kritérium tribologických vlastností, jejichž popsání je neodmyslitelnou součástí procesu tažení.

#### **Abstract:**

This bachelor's work is concerned with an issue of ascertain the tribological characteristics in the corrosion-resistant materials. The theoretical part includes the separation of rustfree materials, describes the signification of friction during forming and characterize the tribology and the tribological tests.

In the experimental part there are realized the tribological tests according to the specified technological conditions and their evaluation is carried out on a basis of the friction coefficient. This coefficient is determined as the criterion of the tribological characteristics whose description is inseparable from the drawing process.



**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 23.5.2008

.....

Pavel Kolbaba  
Mládežnická 1274  
293 01 Mladá Boleslav





**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. a konzultantovi Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. za cenné rady, pomoc při řešení problémů, které se vyskytly při tvorbě této práce, a za předání svých bohatých zkušeností.

Pavel Kolbaba

**Obsah:**

Seznam použitých zkratek a symbolů .....	9
1. Úvod .....	11
2. Teoretická část .....	12
2.1. Tváření kovů .....	12
2.1.1. Tažení výlisků rotačních tvarů .....	12
2.2. Tribologie .....	14
2.2.1. Interakce povrchů .....	15
2.2.2. Tření .....	16
2.2.3. Povrchy plechů .....	18
2.2.3.1. Mikrogeometrie .....	19
2.3. Tribotechnika .....	21
2.3.1. Maziva .....	21
2.4. Tribometrie .....	22
2.4.1. Modelování tření .....	23
2.5. Korozivzdorné oceli a slitiny .....	24
2.5.1. Rozdělení ocelí .....	26
2.5.1.1. Martenzitické / kalitelné oceli .....	26
2.5.1.2. Feritické a poloferitické oceli .....	27
2.5.1.3. Austenitické oceli .....	27
2.5.1.4. Austeniticko-feritické /duplexní oceli .....	28
2.5.2. Tváření korozivzdorných materiálů .....	29
2.5.3. Podstata korozní odolnosti korozivzdorných ocelí .....	30
2.5.4. Koroze .....	31
2.5.4.1. Druhy koroze .....	31
3. Experimentální část .....	34
3.1. Popis a metodika zařízení SOKOL 400 .....	34
3.2. Podmínky zkoušky .....	37
3.2.1. Testované materiály .....	38
3.2.2. Mazivo .....	40
3.2.3. Materiál nástroje .....	41
3.2.4. Rychlost posuvu .....	41
3.2.5. Kontaktní tlak .....	42
3.2.6. Teplota nástroje .....	42
4. Vyhodnocení výsledků .....	42



---

4.1	Vyhodnocení naměřených hodnot .....	43
4.2.	Diskuse naměřených hodnot .....	47
5.	Závěr .....	48
6.	Seznam použité literatury .....	49
7.	Seznam příloh .....	50

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Rozměr	Význam
$A_{80}$	%	celková tažnost materiálu
$b$	mm	šířka zkušebního pásku
$F$	N	hnací síla
$F_h$	N	maximální síla v ustálené části
$F_{max}$	N	maximální síla
$F_{min}$	N	minimální síla
$F_N$	N	normálová síla
$F_p$	N	brzdící síla
$F_S$	N	střední síla
$F_T$	N	tažná síla
$F_t$	N	třecí síla
$\Delta F$	N	velikost rozkmitu sil
$f$	Hz	frekvence snímání dat
$L$	m	délka měření drsnosti
$l_c$	mm	mezní vlnová délka
$l_p$	mm	délka měřeného úseku protahovaného pásku
$l_t$	mm	délka měřeného úseku
$M$	Nm	hnací moment
$M_t$	Nm	třecí moment
$n$		počet měření
$p$	Pa	přidržovací tlak
$Q$	N	normálová přitlačná síla
$R$	m	poloměr
$R$	MPa	smluvní napětí
$R_a$	$\mu\text{m}$	střední aritmetická hodnota drsnosti
$R_e$	MPa	výrazná mez kluzu
$R_m$	MPa	smluvní mez pevnosti
$R_{p0,2}$	MPa	smluvní mez kluzu
$RP_c$	$\text{cm}^{-1}$	počet výstupků
$R_t$	$\mu\text{m}$	největší hloubka drsnost
$R_z$	$\mu\text{m}$	maximální výška drsnosti
$S$	$\text{mm}^2$	činná plocha styku
$s$	mm	tloušťka pásku



---

s		směrodatná odchylka výběru
T	°C	teplota
v	ms <sup>-1</sup>	rychlost posuvu
x <sub>i</sub>		hodnota jednoho měření
$\bar{x}$		aritmetický průměr hodnoty
Z <sub>pi</sub>	μm	výška i-tého nejvyššího výstupku drsnosti
Z <sub>vi</sub>	μm	hloubka i-té největší prohlubně drsnosti
ε		poměrná deformace
μ		koeficient tření
μ <sub>sm</sub>		smykový koeficient tření
μ <sub>v</sub>		valivý koeficient tření
φ		logaritmická deformace
C		uhlík
Cr		chrom
Cu		měď
Mn		mangan
Mo		molybden
N		dusík
Ni		nikl
Nb		niob
Ti		titan

## 1. Úvod

Strojírenský průmysl zaujímá v celosvětovém hospodářství jedno z předních míst. Velká pozornost je věnována na zpracování kovových materiálů. K nejefektivnějším strojírenským technologiím patří technologie tvářecí. Tváření je proces, při kterém dochází vlivem působení vnějších sil k trvalým změnám tvaru a vlastností tvářeného materiálu. Vlivem vnějších sil dojde v materiálu k vytvoření takového stavu napjatosti, při němž dojde k překročení meze kluzu a k následnému vzniku plastické deformace. Během tváření, např. lisováním plechů, se hodnoty jednotlivých veličin v různých oblastech výlisku liší v závislosti na jeho tvaru, rychlosti deformace apod. Stanovení stupně deformace a stavu napjatosti je nutné k určení velikosti tvářecích sil, práce a ke stanovení sil v oblasti přidržovače. Při určování těchto sil je nutné brát ohled na vliv morfologie plechu, která ve spojení s mazivem výrazně ovlivňuje tribologické podmínky procesu tváření, tím i lisovatelnost a praktické použití plechu.

Z hlediska materiálového je tato práce orientovaná na korozivzdorné oceli a jejich slitiny. Od prvních let objevení a rozvoje korozivzdorných ocelí a slitin na bázi niklu bylo cílem jejich aplikací zvýšit technické parametry strojů a průmyslových zařízení. Dosahování vyšších parametrů a spolehlivosti optimální volbou korozivzdorných ocelí se projevuje příznivými důsledky v oblastech jejich využití. V celé řadě průmyslových odvětví umožňují docílit delší životnost výrobních zařízení i jejich částí i větší provozní spolehlivost. To má za následek méně oprav, menší počet odstávek výroby a z dlouhodobého hlediska snížení investičních nákladů na obnovu zařízení.

Cílem bakalářské práce je popsat tribologické podmínky při tažení korozivzdorných materiálů a posoudit vhodnost jednotlivých členů vstupujících do tribologické soustavy (materiál na nástroj, tvářený materiál, mazivo). Při posuzování tribologických vlastností byl stanoven hodnotící ukazatel koeficient tření, jenž byl zjišťován experimentálně tribologickým testem, protahováním ocelového pásu, modelujícím hluboké tažení v laboratorních podmínkách. Výsledky koeficientu tření jsou získané v závislosti na zvolených reálných technologických podmínkách tváření korozivzdorných materiálů neboť zadání bakalářské práce vycházelo z podnětu firmy zabývající se tvářením korozivzdorných materiálů.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Tváření kovů [1]

V praxi se často schopnost kovů k plastické deformaci spojuje s jejich upotřebitelností pro zpracování danou tvářecí technologií. V tomto případě je třeba brát v úvahu také velikost odporu proti přetvoření, který ovlivňuje velikost tvářecí síly a energetickou náročnost dané operace. Hodnotí-li se chování materiálu z hlediska jeho plastičnosti a současně i odporu proti přetvoření hovoříme o jeho tvářitelnosti. Daný materiál může být výborně plastický tj. snese velké trvalé změny tvaru, ale při tažení klade takový odpor proti působení tvářecího nástroje, že je pro danou technologii jeho tvářitelnost špatná. Naopak dobrá plastičnost např. vlivem nízké meze kluzu materiálu může vést k zadírání materiálu v nástroji, takže i zde je tvářitelnost špatná.

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku.

Mezi hlavní technologie tváření kovů patří válcování, kování, protlačování, stříhání, ohýbání a v neposlední řadě i tažení, nastíněné v kapitole níže.

#### 2.1.1. Tažení výlisků rotačních tvarů [1, 2]

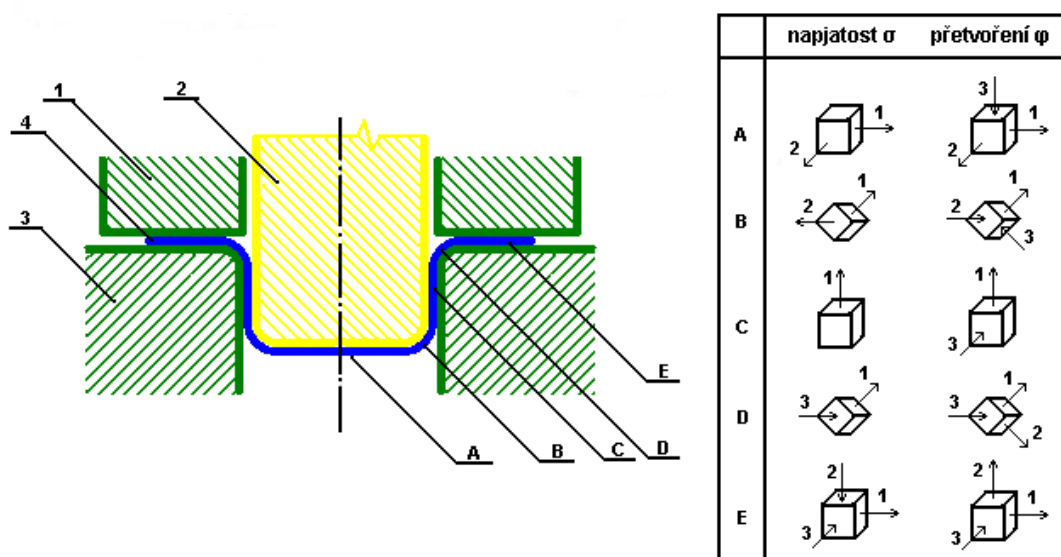
Tažení je technologická operace plošného tváření plechu za studena, kdy z rovinných přístřihů vznikají prostorové součástky nerozvinutelných tvarů. Podle tvaru výlisku se může tažení rozdělit na tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních, nerotačních a nepravidelných tvarů. Tažení je proces, při kterém dosahujeme požadovaného tvaru výlisku bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu. Jednoduché znázornění postupného tažení je znázorněno na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Princip tažení výlisků

Principem tažení je zatlačování tažníku do tažnice a tím současné posouvání plechu přes tažnou hranu. Síla potřebná pro tažení se kontroluje z podmínky pevnosti materiálu. Je také nutné uvažovat vliv tření, zpevnění materiálu aj.

Při hlubokém tažení válcových výtažků se projevují rovinné stavy napjatosti a deformace (obr. 2.2). Napjatost při tažení je v jednotlivých místech výtažku různá. Dno (A) se vytahuje nepatrně a stejnoměrně do dvou směrů. Válcová část (C) je natahována v jednom směru, ale u dna (B) je dvojosá nebo trojosá napjatost. Materiál, který přechází přes tažnou hranu (D), je namáhán ohybem radiálním a tangenciálním tlakem. Materiál pod přidržovačem (E) je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Je-li nástroj bez přidržovače, odpadá tlak pod přidržovačem. Problematika tažení je v místě ohybu u dna výtažku, protože je zde vysoké tahové napětí. Tloušťka stěny se tak zeslabuje a může dojít k utržení dna.



Obr. 2.2: Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem

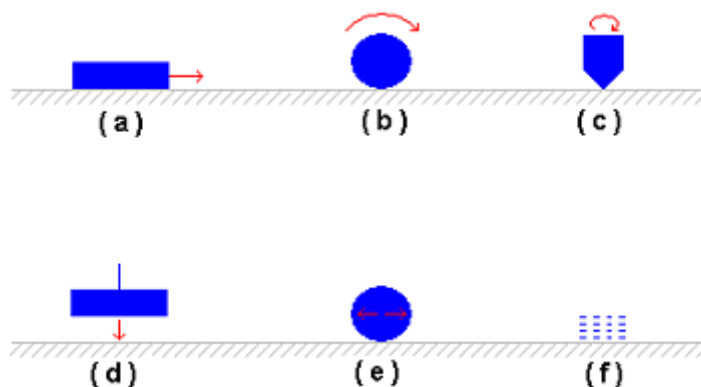
1) přidržovač, 2) tažník, 3) tažnice, 4) materiál

O průběhu deformace rozhodují mnohé vlivy, jako např. přidržovací tlak, rychlost tažení, mazání, tření, materiálové charakteristiky aj. Všechny tyto a další vlivy se dají shrnout jako tribologické vlastnosti.



## 2.2. Tribologie [3, 4, 5]

Tento termín je odvozen z řeckých výrazů tribé a logios – tření a věda. Tribologie je tedy nauka o tření a je definována jako věda a technologie zabývající se vzájemným působením povrchů, které jsou ve vzájemném pohybu, nebo při jejich pokusu o vzájemný pohyb. Pohyb může být kluzný, valivý, rotační, nárazový, kmitavý nebo tokem (obr. 2.3). Současně se však mohou uplatňovat dva i více druhů pohybu. K interakci může docházet mezi dvěma tuhými povrchy nebo mezi tuhým povrchem a kapalinou, plynem, parou nebo jinými látkami.



Obr. 2.3: Znázornění možného vzájemného pohybu třecích povrchů

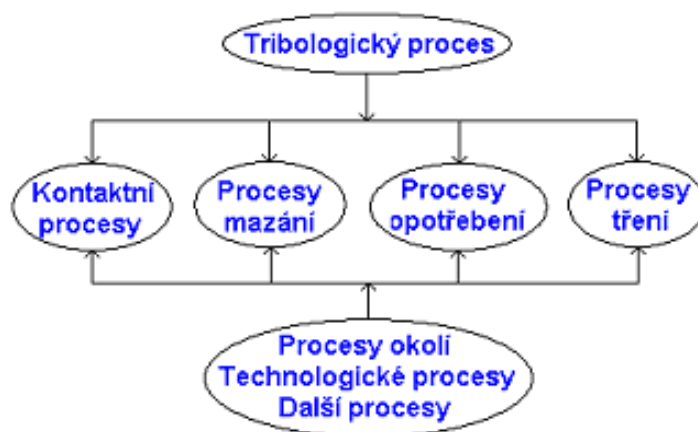
a) kluzný, b) valivý, c) rotační, d) nárazový, e) kmitavý, f) tok

V současné době tribologii podporuje převážná část výrobců plechů i mazadel. Z hlediska průmyslového odvětví nachází tribologie a s ní spojené podmínky tváření uplatnění u zpracovatelů plechů, jež se zabývají tažením např. dílů karosérie automobilu či gastronomických potřeb jako jsou dřezy, přepravní nádoby aj. Procesy tažení těchto výrobků značně ovlivňují tribologické podmínky:

- druh materiálu, drsnost a charakter povrchu nástroje
- druh tvářeného plechu, materiál, drsnost a charakter povrchu
- rychlost posuvu plechu vzhledem k pracovním částem tažidla
- tlak přidržovače
- druh použitého mazadla

Hlavní úlohou tribologie je tedy zajistit, aby vzájemný pohyb povrchů v přítomnosti i nepřítomnosti maziva se děl s nejmenší ztrátou energie a materiálů. Tato úloha nabývá zvýšenou aktualitu v posledních letech, kdy ceny energie a materiálů rostou.

Interakce třecích těles, okolí mezi povrchy a vnější okolí mají vliv na tribologický proces. Tyto vazby jsou znázorněny na obr. 2.4.



Obr. 2.4: Vazby v tribologickém systému

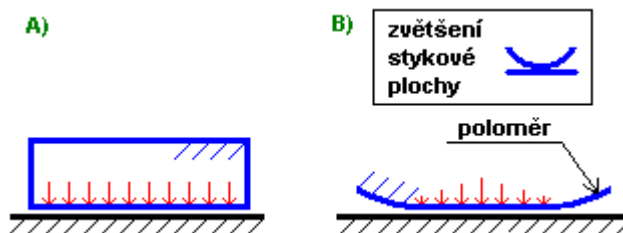
### 2.2.1. Interakce povrchů [3, 4]

Tato oblast zkoumání bere v úvahu základní tvary, rozměry a vlastnosti materiálu dotýkajících se prvků, jejich vzájemné vazby a reakce. Při pohybu dvou částí po sobě působí na mikroskopické nerovnosti elastické a plastické deformační síly. Dá se předpokládat, že čím větší bude vyhlazení povrchu, tím menší bude i třecí síla. Mikroskopické nerovnosti mohou ovšem vytvářet i znečištění povrchu či jeho oxidaci.

Mezi mnohé kontaktní situace je třeba zvažovat vlivy, jako je např. makrogeometrie a mikrogeometrie kontaktních těles, vlastnosti těles mechanické, fyzikální a chemické, charakteristický druh deformace mezi jednotlivými tělesy, velikost ploch a počet těles v kontaktním procesu, typ a rychlost vzájemného relativního pohybu, velikost kontaktních napětí apod.

Elastický kontakt je určován pomocí Hertzovy teorie dotyku. Podle tvaru styčné části existuje kontakt souhlasný, kdy je kontaktní část tvaru dotykové plochy, a nesouhlasný, kdy je kontaktní část ve tvaru bodového nebo čárového dotyku. Nesouhlasný kontakt obvykle při zahrnutí deformačních jevů přechází na kontakt souhlasný. Oba typy kontaktu jsou znázorněny na následujícím obr. 2.5.

S plastickým kontaktem se setkáváme při deformacích tělesa a proto má pro zkoumání třecích jevů menší význam.



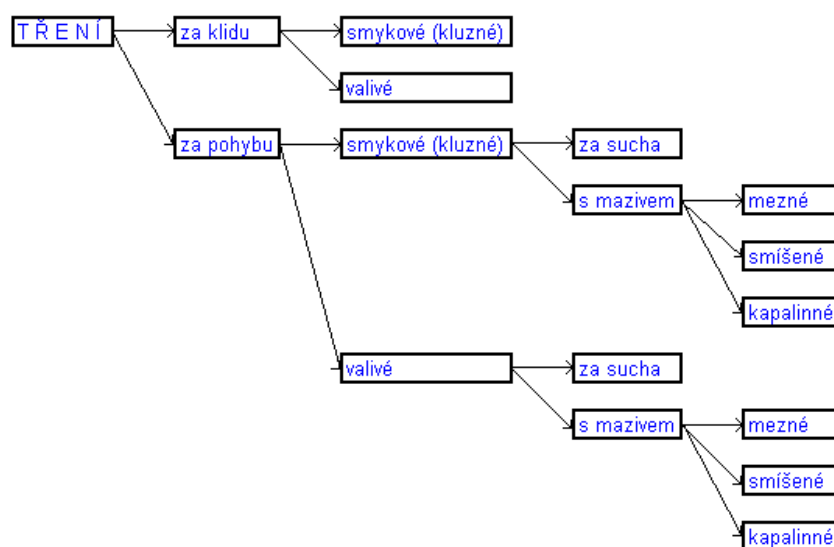
Obr. 2.5: Typy kontaktu: A) souhlasný, B) nesouhlasný

## 2.2.2. Tření [3, 4, 5]

Tření je proces, kde se uplatňuje vzájemný relativní pohyb stýkajících se prvků v tribologickém systému. Lze ho také přesně definovat jako ztráta mechanické energie v průběhu, na začátku nebo při ukončení relativního pohybu navzájem se dotýkajících materiálových oblastí.

Při vzájemném kontaktu povrchů, které jsou v pohybu, dochází k odporu proti pohybu vlivem působení třecí síly. Třecí síla působí v rovině styku pohybujících se těles. Při relativním pohybu tuhých, vzájemně se dotýkajících povrchů je tření vždy provázeno ztrátou mechanické energie, která se přeměňuje v energii tepelnou. Tření můžeme dobře využívat k přenášení nebo naopak k zastavování pohybu (např. třecí spojky, pásové, kotoučové a diskové brzdy). Většinou je však naopak negativním průvodním jevem pohybu, který se snažíme odstranit nebo alespoň zmírnit.

V technické praxi rozeznáváme několik typů tření. Jejich obvyklé rozdělení je zobrazeno na obr. 2.6.



Obr. 2.6: Rozdělení tření

➤ Tření smykové, též kluzné, vzniká mezi povrchovými plochami těles ve vzájemném pohybu na rovině ploše nebo na zakřivené ploše. Výpočet třecí síly je uveden s pomocí rovnice (1) a obr. 2.7.

$$F_t = \mu_{sm} \cdot F_n \quad (1)$$

při stacionárním stavu  $F = F_t$

kde:

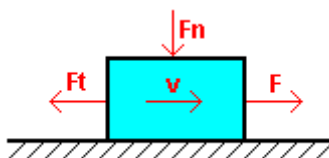
$F$  ... hnací síla [N]

$F_t$  ... třecí síla [N]

$F_n$  ... normálová síla [N]

$v$  ... posuv tělesa [m/s]

$\mu_{sm}$  ... součinitel smykového tření



Obr. 2.7: Znárodnění smykového tření

➤ Tření valivé vzniká při odvalování rotačního tělesa po zakřivené nebo rovině ploše a styk těles je jen bodový, případně přímkový a trvá vždy jen krátkou dobu. Výpočet třecí síly je uveden s pomocí rovnice (2) a obr. 2.8.

$$M_t = \mu_v \cdot F_n = F_t \cdot R \quad (2)$$

při stacionárním stavu  $M = M_t$

kde:

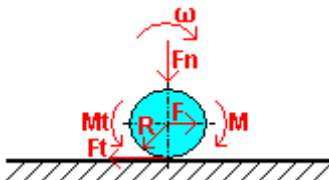
$M$  ... hnací moment [Nm]

$M_t$  ... třecí moment [Nm]

$R$  ... poloměr zakřivení [m]

$\omega$  ... úhlová rychlost [ $s^{-1}$ ]

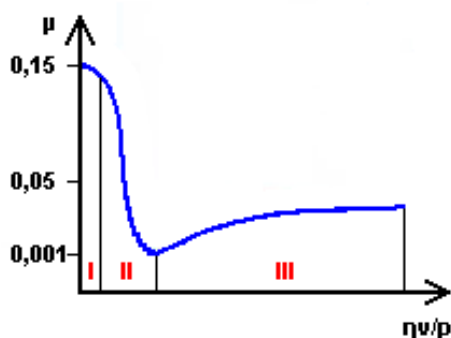
$\mu_v$  ... součinitel valivého tření



Obr. 2.8: Znárodnění valivého tření

- Suché tření nastává při bezprostředním styku dotykových ploch bez přítomnosti maziva. Při tváření je tento stav nežádoucí a vyskytne se pouze při chybném nanesení a nebo pokud mazivo zcela chybí.
- O mezním tření mluvíme v případě, že mezi třecími povrchy již existuje tenká vrstvička (film) adsorbovaných molekul plynu, kapaliny nebo látky vytvořené chemickou reakcí povrchů.
- Při kapalinném, též hydraulickém, tření jsou třecí plochy od sebe dokonale odděleny souvislou vrstvou maziva. Vrstva je tlustší než součet nerovností povrchů.
- Ke smíšenému tření dochází v důsledku použití mazadel ke kapalinnému tření. Působením vysokých tlaků však dochází k vytlačování mazadla, k přímému styku ploch a vzniku mezního tření. Smíšené tření je tedy přechodovým stavem mezi třením kapalinným a mezním.

Jednotlivé oblasti mezního, kapalinného a smíšeného tření znázorňuje Stribeckův diagram (obr. 2.9), kde koeficient tření je závislý na relativní rychlosti třecích partnerů  $v$ , při použití maziva s určitou viskozitou  $\eta$  a při konstantním zatížení  $p$ .



Obr. 2.9: Stribeckův diagram [3]

I) tření mezní, II) tření smíšené, III) tření kapalinné

### 2.2.3. Povrchy plechů [3, 6]

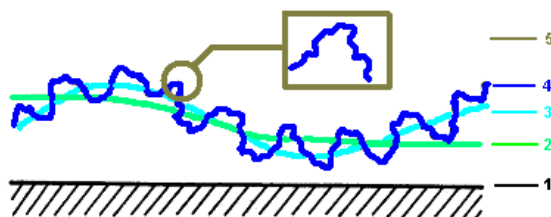
Všeobecná snaha o zvýšení kvality výrobků vede zpracovatele plechů k použití materiálů se specifickou charakteristikou a drsností povrchu. Vytvořené povrchové mikrogeometrie pak lépe odpovídají náročným požadavkům výrobců jednotlivých typů tažených výrobků, zejména pak na specifické nároky na dobrou lisovatelnost a vzhledové vlastnosti. Praktické zkušenosti ukázaly, že výsledný efekt kvality povrchu do značné míry ovlivňuje morfologie povrchu použitého plechu, ve

vzájemné vazbě na tribologické podmínky, které mají vliv na rozvoj deformace plechu při tažení a následný vznik případných negativních vlivů jako je např. výskyt zadírání. Kvalita lisování plechů závisí tedy obecně na mikrogeometrii vytvořené při finálním válcování plechů či případně vytvořený typ textury speciální morfologie s požadovanou mikrogeometrií.

### 2.2.3.1. Mikrogeometrie [6]

Mikrogeometrické veličiny jsou statické parametry, jejichž pomocí lze hodnotit topografii povrchů. Pro tribologické výpočty je třeba uvážit výškové charakteristiky drsnosti povrchu, kdy drsnost je definována jako část geometrických úchylek povrchu s relativně malou vzdáleností nerovností. Nerovnost je charakterizována aritmetickou střední hodnotou drsnosti –  $R_a$ .

V současnosti není technologicky možné a často ani žádoucí vyrobít ideálně rovné a hladké povrchy. Vyrobené technické povrchy mají odchylky tvaru, polohy a drsnosti. Na obr. 2.10. je znázorněno schéma geometrických odchylek od ideálně hladkého povrchu v řezu.



Obr. 2.10: Schématické znázornění geometrie povrchu [4]

1 - ideálně rovný povrch, 2 - odchylky tvaru a polohy, 3 - vlnitost povrchu,  
4 - mikroskopické drsnosti, 5 - submikroskopické nerovnosti

Průměrná drsnost  $R_a$  se určuje jako aritmetický střed absolutních hodnot odchylek všech nerovností  $y$  od sledovaného profilu drsnosti a střední přímky v oblasti vyhodnocené délky 1m.  $R_a$  se vypočítá ze vztahu (3) a obr. 2.11. Nejvyšší hloubka drsnosti  $R_t$  (obr. 2.11) je dána svislou vzdáleností největšího výstupku a prohlubně sledovaného profilu povrchu.

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_{x=0}^{x=L} |y(x)| dx \quad (3)$$

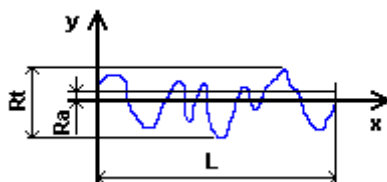
kde:

Ra ... střední aritmetická drsnost povrchu [ $\mu\text{m}$ ]

Rt ... nejvyšší hloubka drsnosti povrchu [ $\mu\text{m}$ ]

L ... délka měřené drsnosti [m]

x, y ... osy souřadného systému



Obr. 2.11: Střední aritmetická hodnota drsnosti a hloubka drsnosti

Maximální výška profilu Rz je dána vztahem (4) a obr. 2.12.

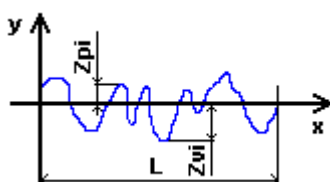
$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |Z_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |Z_{vi}|}{5} \quad (4)$$

kde:

Rz ... maximální výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Zpi ... výška i-tého nejvyššího výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Zvi ... hloubka i-té největší prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]



Obr. 2.12: Střední hloubka drsnosti

Součástí tribologie jsou nejen interakce, tření nebo povrchy materiálů, ale i opotřebení, mazivo a další, které tvoří základ tribotechniky.

## 2.3. Tribotechnika [3, 4, 7]

Tribotechnika je dílčí oblast tribologie, která se snaží o technické a ekonomické ovládnutí tření, mazání a opotřebení vědecky odůvodněnými opatřeními při jejich dimenzování, výrobě, provozu a údržbě.

### 2.3.1. Maziva [3, 4, 7]

Dříve bylo na maziva pohlíženo jako na čistě pomocné látky. Toto mínění je dávno překonáno a odborník ví, že význam maziv je rovnocenný významu zúčastněných třecích prvků.

Z tribotechnických principů má mazivo funkci optimalizace (tj. snížit nebo zcela vyloučit) tření mezi třecími povrchy dvou těles ve vzájemném pohybu. Toto je možné dosáhnout s pomocí vhodných látek dopravených do třecího kontaktu. Při výběru maziv se musí uživatel řídit vždy tím, že neexistují naprosto dobrá a špatná maziva, nýbrž že za daných podmínek je jedno mazivo více či méně vhodné.

Maziva se používají pro zmenšení koeficientu tření mezi tvářeným materiálem a tvářecím nástrojem. Chrání materiál před vznikem povrchových vad a nástroj před opotřebením. Dovolují používat vyšších stupňů tažení, snižují síly i napětí při tažení, umožňují za stejných technologických podmínek tažení s vyšším stupněm deformace a snižují ztenčení stěn výtahu.

Většina tvářecích procesů je bez vhodného maziva neuskutečnitelná. Na jeho složení, vlastnostech a použití záleží životnost tvářecích nástrojů, povrchové vlastnosti tvářených materiálů a velikost tvářecí práce. Z těchto úkolů vyplývají požadavky na vlastnosti maziv a to jsou:

- schopnost vytvořit pevný souvislý film
- mazací schopnost
- schopnost udržení na třecích plochách
- chemická a tepelná stálost a odolnost
- snadné nanesení a odstranění
- hygienická nezávadnost
- cena.



Maziva lze rozdělit na tři základní druhy:

- technologická (jednofunkční)
- konzervační (dvoufunkční)
- prací oleje.

Technologická mazadla jsou nanášena na přístřih až před vlastním tažením a dále dle mazacích plánů pouze na místa, kde chceme omezit vliv tření – přimazávání.

Konzervační mazadla jsou nanášena na plech již u výrobce, v hutích. V dnešní době je kladen podstatně větší význam na jejich konzervační schopnost, než na schopnost mazací – technologickou.

Použití pracích olejů má význam zejména při tažení výlisků karosářského typu, u kterých je požadována vysoká kvalita povrchu.

Řada problémů z této oblasti se v současné době nechá vyřešit pomocí laboratorních zkoušek -tribometrií, které by se měly co nejvíce přibližovat reálným podmínkám v praxi.

## 2.4. Tribometrie [3, 4]

Tribometrie je oblast, která se zabývá tribologickými zkouškami. K posouzení mazacích a protioděrových schopností maziv byla vyvinuta řada mechanicko-dynamických zkoušek napodobujících různé podmínky, za nichž má mazivo plnit svou funkci a z jejichž výsledků lze alespoň do určité míry usuzovat, zda je zkoušené mazivo schopno za daných podmínek zmenšit v uspokojivém rozsahu opotřebení třecích ploch.

K dispozici je řada zkušebních metod, které jsou více či méně vhodné pro danou oblast. Podle důležitosti a složitosti daných reálných tribologických systémů se volí nejvhodnější postup výzkumu tribologických součástí. Získání přesných informací o reálném tribologickém systému je hodně obtížné. Existují i problémy s přenosem výsledků zkoušek, získané na jednoduchých zkušebních vzorcích, na výrobek. Z těchto důvodů se dělají nejen zkoušky v laboratoři, ale i zkoušky na modelovém zkušebním zařízení a ve zvláštních případech přímo v provozu.

Čím je tribologický systém složitější, tím je i jeho zkoušení nákladnější. Při sledování procesu tváření plechů, jakožto tribologického systému zjišťujeme velké množství vlivů vstupujících do tohoto systému.

Zároveň lze říci, že velikost třecí síly při tváření závisí na:

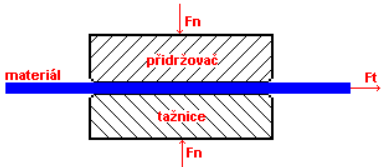
- mikrogeometrii povrchu substrátu
- rychlosti posuvu plechu po nástroji
- deformaci materiálu
- druhu použitého substrátu
- druhu materiálu nástroje a stav jeho povrchu
- použitém mazivu při tažení
- velikostí kontaktního tlaku mezi materiálem a nástrojem.

Tyto veličiny se však neuplatňují samostatně a vzájemně se ovlivňují. Proto se často při vyhodnocování tribologických podmínek posuzují komplexně výsledky zkoušek pro soustavu nástroj-mazivo-materiál-technologické podmínky. Tribologický výzkum v oblasti tváření plechů tak především probíhá na úrovni zkoumání makromodelu, kdy se zohledňuje celý funkční projev sledovaného modelu a tento výzkum lze charakterizovat tím, že získáváme údaje z vnějších měřitelných veličin tribologického systému. Mezi tyto veličiny především patří měření velikosti třecí síly při pohybu testovaného vzorku.

### 2.4.1. Modelování tření [4]

Laboratorních zkoušek pro hodnocení tribologických vlastností testovaných mazadel a substrátů byla vyvinuta celá řada. Ve většině případů se však jedná o zkoušky technologické a výsledky z jednotlivých pracovišť nejsou porovnatelné. Každá ze zkoušek na základě určitých hodnotících kritérií porovnává mezi sebou výsledky jednotlivých zkoušek pro určitou kombinaci testovaný substrát -testované mazivo -technologické podmínky. Přehled některých používaných zkoušek pro hodnocení tribologických vlastností jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1: Přehled tribologických zkoušek

Metoda	Popis	Schéma
Modelování tření mezi přidržovačem a tažnicí	<ul style="list-style-type: none"> <li>-koeficient tření určen z výpočtu třecí (<math>F_t</math>) a normálové (<math>F_n</math>) síly</li> <li>-výhoda: jednoduchost nastavení podmínek testu a snadné měření sledované třecí síly</li> <li>-nevýhoda: napjatost testovaného materiálu neodpovídá skutečné napjatosti materiálu pod přidržovačem a v průběhu zkoušky nedochází k výrazné plastické deformaci</li> </ul>	

Metoda	Popis	Schéma
Modelování tření na tažné hraně	<ul style="list-style-type: none"> <li>-koeficient tření určen pomocí síly potřebné pro ohyb a narovnání pásku na tažné hraně</li> <li>-výhoda: jednoduchost nastavení rychlostí protahovaného vzorku</li> <li>-nevýhoda: špatná kontrola kontaktního tlaku mezi vzorkem a tažnou hranou</li> </ul>	
Modelování vypínání přes tažnou hranu	<ul style="list-style-type: none"> <li>-koeficient tření určen pomocí tažné síly (<math>F_{\text{tažná}}</math>) potřebné pro vytvoření předem zvolené deformace</li> <li>-nevýhoda: obtížné nastavení kontaktního tlaku a kluzné rychlosti na tažné hraně</li> </ul>	
Modelování tření mezi přidržovačem, tažnicí a tažnou hranou	<ul style="list-style-type: none"> <li>-kombinace dvou předchozích metod</li> <li>-koeficient tření určen pomocí tažné síly (<math>F_{\text{tažná}}</math>)</li> </ul>	

Pomocí těchto i jiných metod modelování tření bylo už provedeno nespočetné množství zkoušek. Ve většině případů se jednalo o zkoumání obvyklých materiálů, např. hlubokotažných ocelí. V současné době se však stále častěji používají korozivzdorné ocele, o jejichž tribologických vlastnostech při tažení neexistuje mnoho informací. Zjišťování tribologických vlastností za konkrétních technologických podmínek tváření dalo základ ke vzniku této bakalářské práce.

## 2.5. Korozivzdorné oceli a slitiny [8, 9]

Korozivzdorné oceli se staly v průběhu let doslova nepostradatelnými. Jejich využití (obr. 2.13) sahá od nejrůznějších zařízení v chemickém průmyslu, přes architekturu až pro gastronomické a chirurgické zařízení. Výhodou nerezových produktů je především malá náchylnost ke korozi, lesklý povrch, omyvatelnost, bez následných úprav (lakování, chromování aj.) a hygienická nezávadnost.



Obr. 2.13: Produkty z korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli jsou chromové slitiny se železem obsahující 12 až 30 % chromu, až 30 % niklu nebo do 24 % manganu. Tyto hlavní slitinové prvky jsou dále doplněny molybdenem, mědí, titanem, niobem aj.

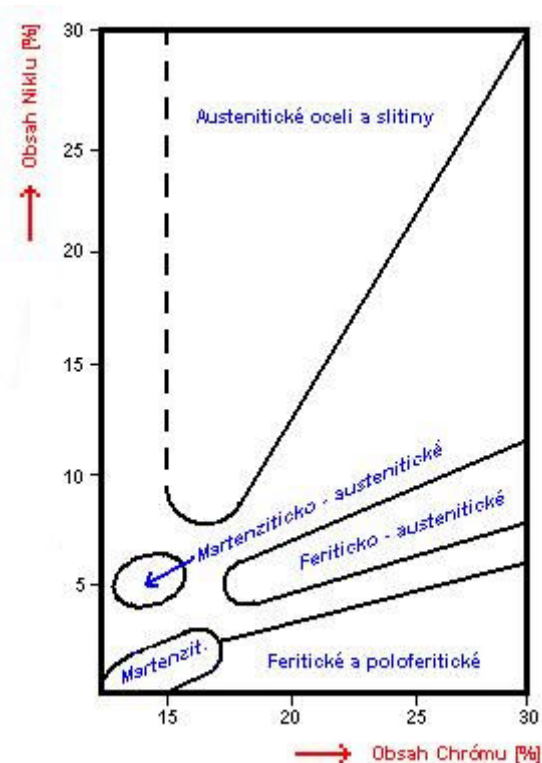
Konstrukční materiály jsou všeobecně při použití namáhány nejen mechanicky, ale často jsou vystaveny i vlivům agresivního prostředí, vysokých teplot i vzájemné interakci. V nepříznivých případech dochází k jejich porušování a je snižována jejich použitelnost, životnost a tím i spolehlivost často i celých zařízení. Jedním z těchto vlivů se uplatňuje koroze.

Korozivzdorné oceli a slitiny všeobecně rozdělujeme podle chemického složení:

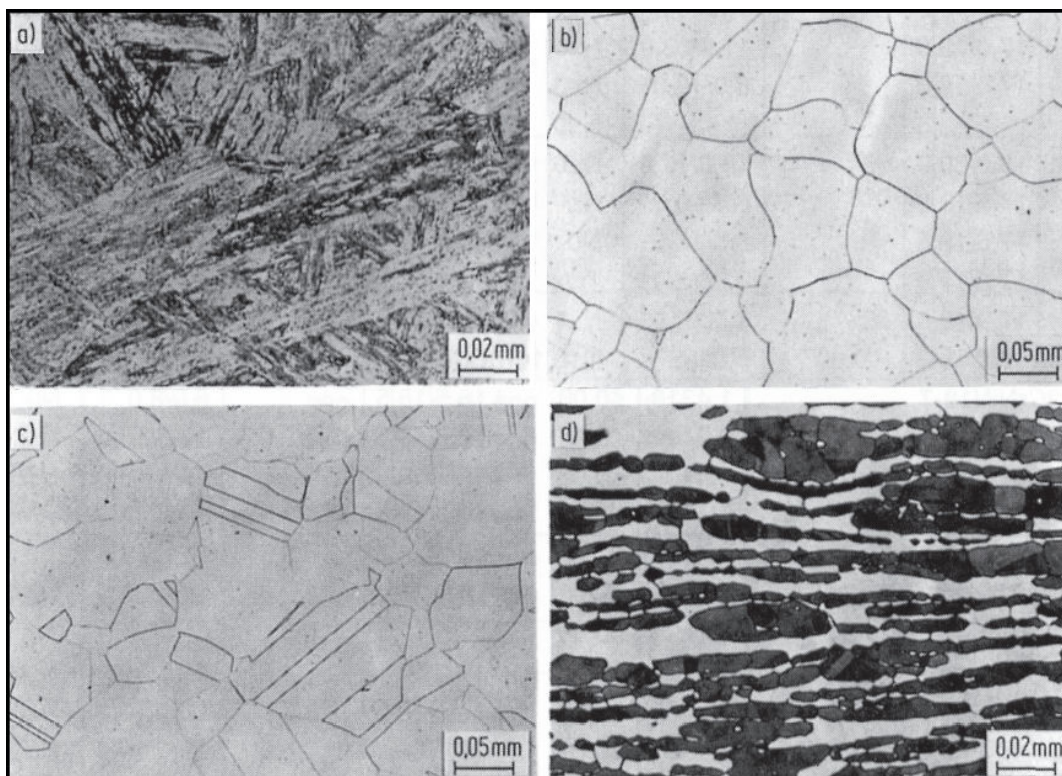
- chromové
- chromniklové
- chromnikl molybdenové
- chrommanganové

Podle mikrostrukturního hlediska (obr. 2.14 a obr. 2.15) se rozdělují:

- martenzitické /kalitelné
- feritické
- austenitické
- austeniticko-feritické /duplexní



Obr. 2.14: Vyznačení oblastí chemických složení různých korozivzdorných ocelí [8]



Obr. 2.15: Příklady typických struktur korozi-vzdorných ocelí [9]

a) materiál 1.4313 s martenzitickou strukturou, b) materiál 1.4511 s feritickou strukturou, c) materiál 1.4301 s austenitickou strukturou, d) materiál 1.4462 s austeniticko-feritickou strukturou

## 2.5.1. Rozdělení ocelí [8, 9]

### 2.5.1.1. Martenzitické / kalitelné oceli [8, 9]

Jsou to oceli s obsahem chrómu až 18%, uhlíku až 1,5% a po zakalení z teplot zasahujících do oblasti austenitu vykazují martenzitickou strukturu. Obsah chrómu zhruba nad 10,5% dovolu- je tvorbu pasivní vrstvy a zvyšuje odolnost proti rezivění.

Všeobecně pro martenzitické oceli platí nízká korozní odolnost. Mohou nalézt použití ve styku s kyselinou dusičnou, boritou, octovou, benzoovou, olejovou, pikrovou, s uhličitany, dusičnany a louhy. Se stoupající teplotou však jejich odolnost klesá. Odolnost proti atmosférické korozi je dostatečná jen ve velmi čistém ovzduší. Martenzitické oceli se využívají k výrobě lopatek parních turbín, armatur v chemickém a energetickém průmyslu, chirurgických nástrojů aj.

### 2.5.1.2. Feritické a poloferitické oceli [8, 9]

Tyto oceli se vyznačují s více než 13% chrómu. Podle rovnovážného diagramu se po ztuhnutí dalším chladnutím již nemění a to pokud obsah chrómu nepřekročí asi 26%.

Feritické oceli mají vyšší pevnost než mají nelegované uhlíkové oceli. Mají dobrou korozní a žárovou odolnost. Naopak nevýhodou je nízká houževnatost a citlivost na vruby. Jsou magnetické a dostatečně tažné. Použití těchto ocelí je zajímavé vzhledem k jejich odolnosti proti koroznímu praskání.

Jejich vyšší obsah chrómu zvyšuje korozní odolnost, která je v oxidačních prostředích vyšší než u martenzitických ocelí. Uplatnění je v chemickém průmyslu, v prostředí kyseliny dusičné, v dopravě, vzduchotechnice, architektuře aj. V některých průmyslových atmosférách však nevyhovují. Nevhodné jsou ve svařovaných konstrukcích.

### 2.5.1.3. Austenitické oceli [8, 9]

V uvedených ocelích byl chróm jediným slitinovým prvkem ve větším množství. Přísada niklu, manganu, popř. dusíku, ke slitinám železa s chrómem ve vhodně vyváženém množství vytváří základ nového typu ocelí, zvaných austenitické. Základní člen řady těchto ocelí obsahuje 18% chrómu a 9% niklu při obsahu uhlíku kolem 0,08%, popř. mangan v rozmezí 9 až 19%, v kombinaci s možnou přísadou dusíku (až 0,5%) jako náhrady niklu. Oceli legované manganem a dusíkem lze použít za zvláštních podmínek (prostředí chloridů a sirných sloučenin). Za účelem získání různých vlastností se základní složení oceli upravuje co do obsahu základních a doprovodných prvků pro potřebnou korozní odolnost, obrobitelnost aj.

Ze všech základních tříd mají nejvyšší korozní odolnost, kterou lze zvyšovat přidáním molybdenu a mědi. Významnou vlastností je tažnost a houževnatost. Austenitické oceli se využívají k výrobě gastronomického zařízení, chirurgických nástrojů, v architektuře aj.

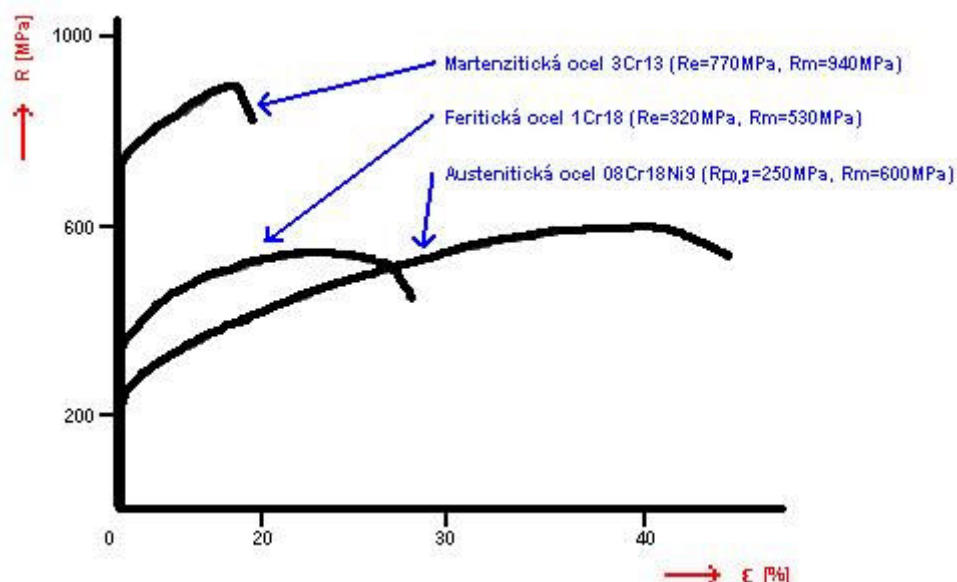
### 2.5.1.4. Austeniticko-feritické /duplexní oceli [8, 9]

Austeniticko-feritické oceli, které se vzhledem k jejich dvěma složkám struktury také často označují jako duplexní oceli, získaly v současné době na významu. Podíl feritu ve struktuře oceli, jehož množství je především dáno poměrným zastoupením feritotvorných prvků, se pohybuje podle typu oceli zhruba mezi 30 – 50%. Podíl feritu ve struktuře závisí však nejen na chemickém složení, ale i na tepelném zpracování. Oceli obvykle obsahují 0,02% C a 0,25% N a různého obsahu Cr, Ni a Mo. Existuje celá řada variant těchto ocelí s různými obsahy legujících prvků.

Pevnostní charakteristiky těchto ocelí jsou zřetelně lepší, než u ryze austenitických ocelí a zvyšují se s obsahem feritu. Použití je zejména tam, kde austenitické oceli nezaručují bezporuchový a bezpečný provoz. Zvláště v prostředích, kde může docházet ke vzniku korozního praskání za napětí.

Používají se pro řadu zařízení v chemickém, petrochemickém, papírenském a energetickém průmyslu, pro zařízení přicházející do styku s mořskou vodou, na výměníky tepla, chladiče aj.

Korozivzdorné oceli mají své specifické fyzikální a mechanické vlastnosti a tak je i technologie tváření odlišná. Pro názornost pevnostních vlastností vybraných nerezů jsou na obr. 2.16 uvedeny tahové křivky.



Obr. 2.16: Pracovní diagram zkoušky tahem korozivzdorných ocelí [8]



## 2.5.2. Tváření korozivzdorných materiálů [8]

Korozivzdorné materiály zpravidla vykazují dobrou tvářitelnost, takže přicházejí v úvahu pro použití v nejrůznějších oblastech. Význam tu mají především ploché výrobky, plechy, které svou užitnou hodnotu v mnohých případech získávají teprve až po následném procesu tváření.

### ➤ **Tváření za tepla**

Při tváření za tepla je nutné věnovat pozornost všem zvláštnostem ve vlastnostech korozivzdorných ocelí v porovnání s uhlíkovými oceli. Teploty pro tváření leží zhruba v oblasti nad 950 °C. Ohřev na tyto teploty se musí provádět stejně pečlivě jako u jiných ušlechtilých ocelí, neboť korozivzdorné mají horší tepelnou vodivost při nižších teplotách. Korozivzdorné oceli se proto musí zvolna ohřívat až asi do 800 °C a na této teplotě pak dobře prohřát, aby se zabránilo vzniku pnutí, popř. trhlin, způsobenou příliš rozdílnou teplotou mezi povrchovými vrstvami a jádrem ingotů nebo polotovarů. Nad 900 °C již mají všechny oceli a slitiny tepelnou vodivost téměř stejnou jako běžné konstrukční oceli. Proto může už ohřev probíhat rychleji až na stanovenou horní teplotu pro tváření. Nízká vodivost vyžaduje také delší výdrže pro konečné dokonalé prohřátí. Příliš pomalý nebo rychlý vzestup teploty ke konci ohřevu je nežádoucí, neboť nastane hrubnutí zrna.

Při ohřevu je nutné počítat s tím, že austenitické oceli se snadno nauhličují. K nauhličení povrchu nesmí docházet, a proto je výhodné na ohřev použít elektrické pece. Pokud se používá k ohřevu plyn, nesmí povrch přijít do styku se sloučeninami síry a oxidu uhelnatého a uhličitého. Pro ohřev se obvykle nepoužívá ochranných atmosfér, neboť korozivzdorné oceli se méně opalují a kalitelné druhy i méně oduhličují než jiné oceli bez chrómu nebo jen s jeho malým obsahem.

Korozivzdorné oceli se při tváření za tepla jeví tvrdšími než uhlíkové oceli. Nejméně tvárné jsou austenitické oceli a zejména pak žárovevné. Při válcování je obecně třeba mnohem většího tlaku a úběry nemohou být tak velké jako při válcování uhlíkových nebo ušlechtilých konstrukčních ocelí. Také kování musí začínat mírnými údery, ale potom lze již pokračovat rázněji, aby plastická deformace zasáhla celý průřez tvářeného kusu.



➤ **Tváření za studena**

Tváření za studena je nejhojněji používaným způsobem zvýšení tvrdosti a zpevnění austenitických korozivzdorných ocelí. Tato operace je také nutná pro získání vysoce jakostního povrchu. Cílem strojírenského tváření za studena je spíše dosažení změny tvaru oceli, méně často i zpevnění, které se naopak mnohdy odstraňuje žíháním.

Feritické a austenitické oceli se dobře hodí k hlubokému tažení, lisování, ražení, prostřihování, ohýbání, lemování, zaválcování a jiným způsobům tvarování. Přednostně se používají austenitické oceli vzhledem k jejich větší plasticitě. Ve skupině feritických ocelí druhy s velmi nízkým obsahem uhlíku a dusíku, popř. legované titanem, jsou oceli snadno tvářitelné za studena a vhodné k tažení.

Všechny austenitické oceli se tvářením za studena značně zpevňují, a proto při každém tvářením vyžadují velké síly. Výkon strojů musí být o 50 až 100 % vyšší než u uhlíkových ocelí a tvářecí rychlosti poněkud nižší. Tažnost těchto ocelí je vyšší při nižší rychlosti deformace, nástroj se méně zahřívá a je menší riziko zadření.

Při hlubokém tažení se maže tukem, který je při velkých tlacích schopen tvořit film mezi nástrojem a taženou ocelí. Doporučuje se též mýdlo, ale není dovoleno mazat grafitem, protože jeho zbytky nelze zcela odstranit a ocel by se pak při žíhání nauhličila. Průměr válcové nádoby po prvním tahu nemá být menší než 60 % průměru výchozího kruhového přístřihu. Dalšími tahy se má průměr zmenšovat pokaždé nejvíce o 15 %. Pro tažení dna je nejvhodnější plech válcovaný za studena a mořený, protože mořený povrch lépe zadržuje mazadlo než povrch leštěný.

Velká schopnost zpevnění dovoluje zpracovávat tvářením za studena i mírně tvrdé válcované plechy nebo pásy. Je to postup vhodný pro předměty, jejichž zpevnění se nemusí odstraňovat žíháním. Při tomto postupu je předem zajištěn hladký povrch výrobku, který se nakonec snadno brousí a leští. V současné době se používá válcovacích stolic s více než čtyřmi válci o malém průměru, zvaných Sendzimirovy válcovací stolice. Jeden úběr tloušťky činí často 20 až 25 % při rychlosti 500 m/min. V případě širokých pásů lze dosáhnout tloušťky až 0,2 mm.

### **2.5.3. Podstata korozní odolnosti korozivzdorných ocelí**

Korozivzdorné oceli charakterizuje dobrá korozní odolnost při normální i vyšší teplotě. Rozhodujícím prvkem pro dosažení odolnosti k celkové korozi je chrom, který tak zajišťuje pasivitu. Je samozřejmé, že i tyto oceli postupně korodují. Koroze však probíhá pomalu, takže zvýšená životnost součástí vyváží jejich cenu. Volba

korozivzdorné oceli je obtížná, protože je třeba přihlídnout k druhu prostředí, teplotě a tlaku, stejně jako k požadovaným mechanickým vlastnostem. Korozní vlastnosti, tj. schopnost oceli odolávat korozi v rozličných prostředích, se uvádějí v různých sbornících a materiálových listech.

#### **2.5.4. Koroze [10]**

Korozí rozumíme postupné chemické nebo fyzikálně chemické znehodnocování materiálu za působení okolního prostředí nejčastěji kapalného nebo plynného. Korozi podléhají nejen kovové materiály, ale i materiály nekovové, jako polymery, silikátové stavební hmoty, sklo, textilie, přírodní materiály aj.

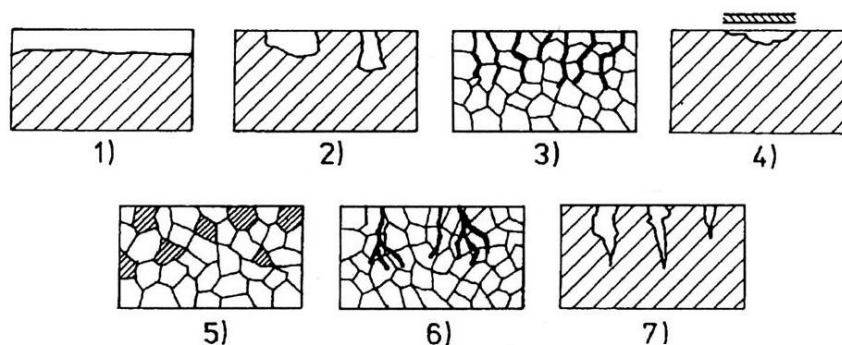
Nejčastějším korozním prostředím je atmosféra. Významná jsou však i jiná prostředí jako půdy různé agresivity (koroze dálkovodů, základů budov), přírodní vody říční i mořské (koroze plavidel, přehrad). Ve výrobních závodech je to často prostředí s vysokou agresivitou (kyseliny, zásady, soli, plyny apod.).

Korozní odolnost korozivzdorných ocelí a mnohých slitin spočívá především v jejich schopnosti se pasivovat. Pasivita je složitý jev, který lze dosud obtížně definovat. Důležité však je, že pasivita podstatně omezuje chemickou reaktivitu kovů a slitin a ty se pak chovají jako imunní. Z teorií pasivity je nejvíce uznávána teorie oxidových filmů, podle které jsou kov nebo slitina v pasivním stavu pokryty velmi tenkým neviditelným povlakem oxidu, tvořícím se reakcí s okolním prostředím.

##### **2.5.4.1. Druhy koroze [10, 11]**

V mnoha prostředích dává pasivita ocelím a slitinám vynikající odolnost proti celkové korozi. Za zvláštních podmínek může však být pasivita místně porušena, což se projeví některým z místních druhů koroze –štěrbínovou, bodovou, mezikrystalovou a korozním praskáním. Každý z těchto druhů koroze se projevuje svou vlastní povahou a probíhá často za zvláštních podmínek. Znalosti o těchto druzích koroze jsou významné při uplatnění korozivzdorných ocelí, zvláště pak austenitických, které stále dominují v konstrukcích a zařízeních různých průmyslových odvětví a musí odolávat zvláště kyselým kapalným elektrolytům, popř. i zvýšeným teplotám a tlakům.

Nejběžnější typy korozního napadení materiálů jsou uvedeny níže a zobrazeny na obr. 2.17.



Obr. 2.17: Schémata typických korozních napadení [10]

1) rovnoměrné, 2) bodové, důlkové, 3) mezikrystalové, 4) štěrbinové, 5) selektivní, 6) korozní praskání transkrystalové, 7) korozní únava

### 1) Rovnoměrná / celková koroze

➤ Rovnoměrná koroze způsobuje rovnoměrné úbytky materiálu po celé exponované ploše. Lokálně může být napadení intenzivnější, ale zpravidla se příliš neliší od průměru. Z hlediska spolehlivosti zařízení je rovnoměrná koroze nejpriznivější (ve srovnání s ostatními typy napadení), protože je možné experimentálně stanovit rychlost úbytku a konstruovat zařízení s ohledem na korozní rychlost.

### 2) Nerovnoměrná koroze

V praxi se setkáváme nejen s celkovou korozí, ale se zvláštními, velmi nebezpečnými formami koroze, jako je mezikrystalová, bodová, štěrbinová koroze, korozní praskání, únava aj.

➤ Bodová a důlková koroze se nejčastěji vyskytuje u pasivovaných materiálů. Porušením pasivní vrstvy vznikají aktivní korozní centra. Koroze v těchto bodech napadá materiál do značné hloubky. Důlkové napadení se od bodového liší tím, že průměr důlku je větší než jejich hloubka.

➤ Mezikrystalová koroze je způsobena větší rychlostí koroze po hranách zrn, než korozí vlastního zrna. Někdy přechází napadení z hranic krystalů na samotné krystaly a pak se jedná o tzv. transkrystalovou korozi. Tyto koroze jsou velmi nebezpečné, protože unikají běžnému vizuálnímu pozorování a zařízení, která nejeví při běžné prohlídce žádné znaky korozního napadení, mohou být korozí doslova zničena. Tyto koroze napadají též plastické hmoty.

- Koroze štěrbinová souvisí s bodovou korozí a objevuje se ve štěrbinách se špatným oběhem korozního prostředí. Vznikající místní rozdíly v koncentraci kyslíku vytvářejí podmínky pro vznik koroze.
- Selektivní napadení se vyskytuje u slitin s dvou a více fázovými strukturami. Korozní napadení se v některém prostředí omezuje pouze na jedinou fázi. Ve většině případů se korodující fáze liší chemickým složením od nekorodujících fází.
- Koroze únavová se uplatňuje za cyklického namáhání v korozním prostředí.

### 3. Experimentální část [4]

Úkolem této bakalářské práce bylo experimentálně zjistit nejvhodnější kombinaci vstupních parametrů na proces protahování pásku. Jako kritérium hodnocení tribologických vlastností byl stanoven koeficient tření. Jeho zjišťování bylo provedeno pomocí laboratorních zkoušek modelujících proces tažení na zařízení SOKOL 400.

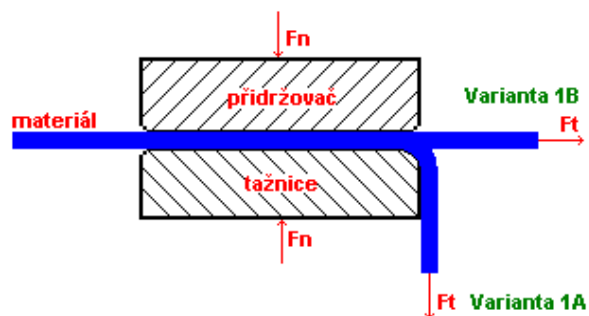
Cílem experimentální části bakalářské práce bylo:

- zjištění hodnot sil potřebných pro tažení plechů při zvolených podmínkách
- výpočet koeficientu tření pro tažení plechů při zvolených podmínkách
- vyhodnotit získaná tribologická data

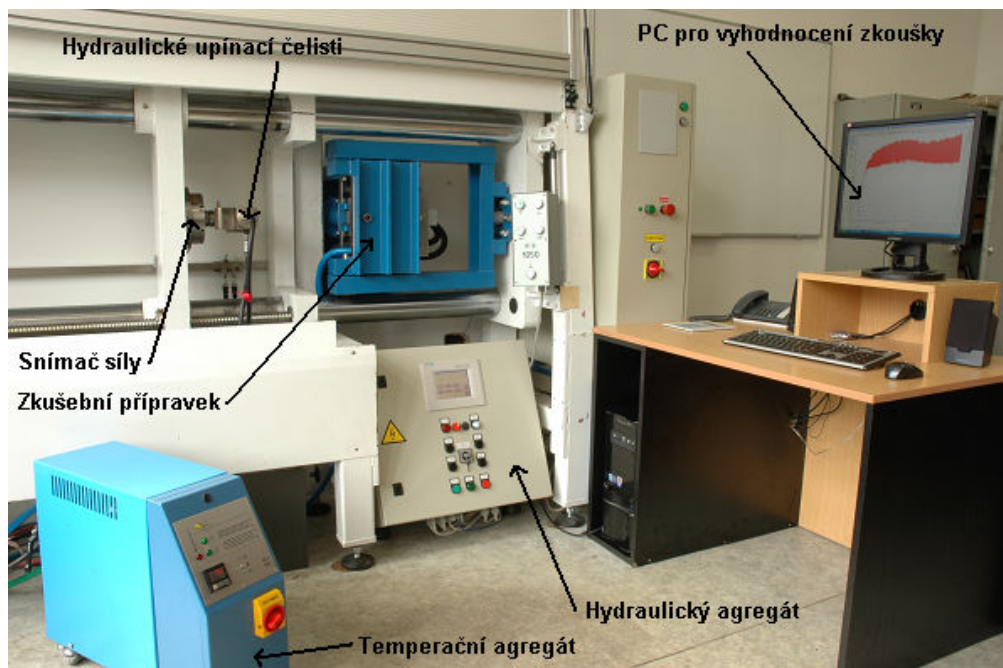
K řešení experimentu byly použity dva typy korozivzdorných materiálů, dva druhy materiálů na nástroj, dva druhy tvářecích olejů. Popis zařízení, příprava výroby vzorků, vlastní měření dle metodiky a vyhodnocování experimentu jsou popsány v následujících kapitolách.

#### 3.1 Popis a metodika zařízení SOKOL 400 [4]

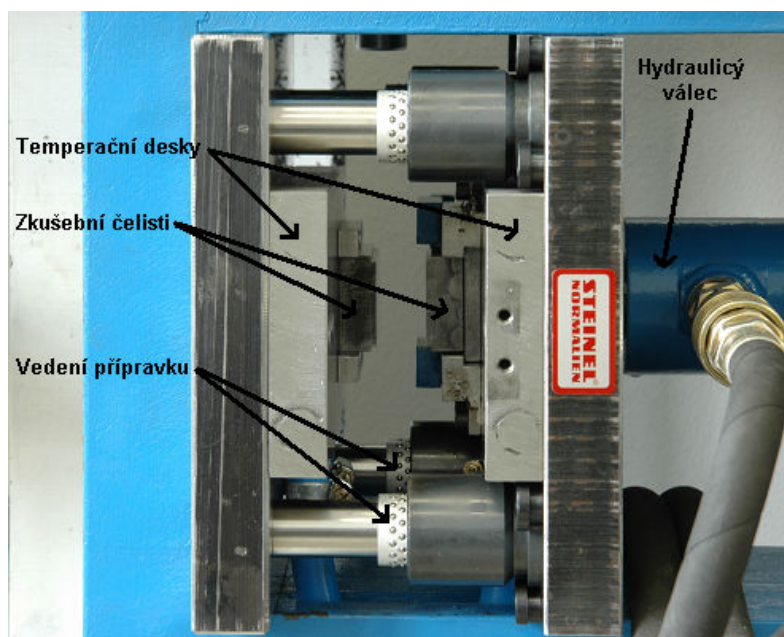
Stroj SOKOL 400 je vysokorychlostní zařízení pro hodnocení tribologických vlastností, vycházející z protahování pásku plechu. Zařízení umožňuje tažení rychlostmi 1 až 400 mm/s. Konstrukce zkušebního zařízení vychází z technologických požadavků v praxi a metod měření popsanych v kapitole 2.4.1. Funkčními částmi zkušebního přípravku jsou dvě výměnné čelisti. Jedna z čelistí je pevná a druhou lze ovládat pomocí hydraulického systému, který umožňuje vyvození požadovaného tlaku na protahovaný pásek při tribologickém testu. Vzorek plechu o šířce 40 mm je protahován konstantní rychlostí mezi čelistmi zkušebního přípravku. Velikost kontaktní plochy je dána šířkou pásku a délkou funkční plochy čelistí. Délka protahovaného pásku se mění v závislosti na rychlosti protahování. Konstrukce přípravku umožňuje modelovat podmínky v oblasti tažné hrany tažnice (varianta 1A) a v oblasti přidržovače (varianta 1B). Jednotlivé varianty konstrukce čelistí jsou znázorněny na obr. 3.1, uspořádání pracoviště se zkušebním zařízením na obr. 3.2, zkušební přípravek na obr. 3.3 a technické parametry stroje v tab. 2.



Obr. 3.1: Varianty konstrukce čelistí



Obr. 3.2: Uspořádání pracoviště a zkušebního zařízení SOKOL

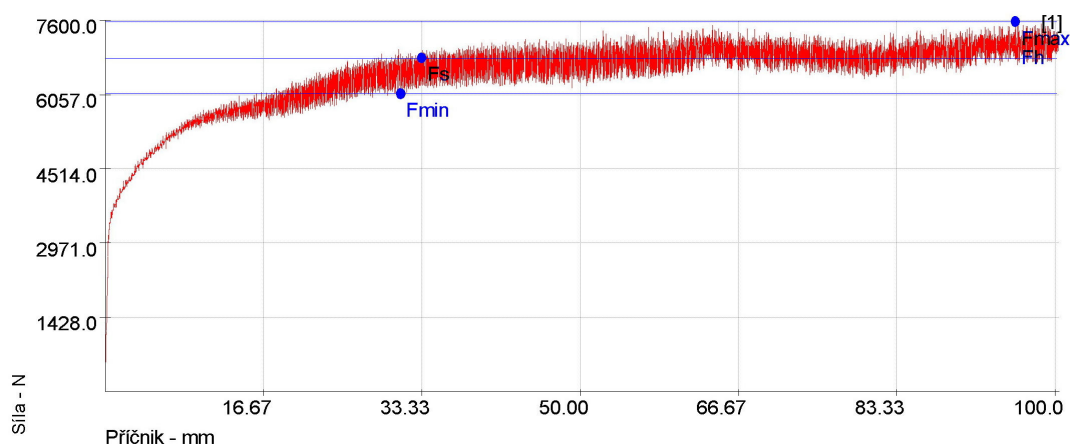


Obr. 3.3: Zkušební přípravek

Tab. 2: Technické parametry zařízení SOKOL 400

Technické parametry zařízení SOKOL 400	
Rychlost posuvu suportu	$v = 1$ až $400 \text{ mms}^{-1}$
Kontaktní tlak čelistí	$p = 0,5$ až $35 \text{ MPa}$
Kontaktní plocha čelistí	$S = 40 \times 78 \text{ mm}$
Teplota čelistí	$T = 15$ až $95 \text{ °C}$
Frekvence snímání dat	$f = 10 \text{ kHz}$
Maximální tahová síla suportu	$F_t = 20\,000 \text{ N}$

Princip zkoušky v podstatě spočívá v protažení pásku plechu s danými rozměry za předem definovaných technologických podmínek (rychlost posuvu, kontaktní tlak, mazivo a čelisti přípravku). Pro dosažení potřebného kontaktního tlaku mezi čelistmi je použit hydraulický systém, který je připojen k měřicímu přípravku. Hydraulický agregát ovládá hydraulický válec s pohyblivou deskou, na které je připevněna čelist. Požadovaný tlak je měřen manometrem, který je napojen na hydraulický obvod. Na tomto hydraulickém obvodu je napojen akumulátor, který udržuje v celém systému konstantní tlak, který lze regulovat pomocí škrtícího ventilu. Při posuvu plechu je snímačem přes měřící kartu do PC zaznamenávána velikost síly a vzniká tak záznam, sloužící pro vyhodnocení zkoušky (obr. 3.4).



Obr. 3.4: Pracovní diagram zkoušky

( $v=1 \text{ mm/s}$ ,  $p=6 \text{ MPa}$ ,  $t=40 \text{ °C}$ , vzorek DIN 1.4301, čelisti DIN 1.2379, mazivo 1)

kde:

$F_{\max}$  ... maximální velikost síly, které bylo dosaženo při zkoušce

$F_h$  ... maximální velikost síly, které bylo dosaženo v ustálená části diagramu

$F_{\min}$  ... minimální velikost síly, které bylo dosaženo v ustálená části diagramu

$F_s$  ... střední velikost síly v ustálené oblasti měření

$\Delta F$  ... velikost rozkmitu síly v ustálené oblasti měření

Ve výše prezentovaném pracovním diagramu je zaznamenán průběh tribologického testu s měřenými veličinami, tj. dosažené síly v závislosti na měřené dráze. K posouzení výsledku testu slouží výše uvedené charakteristiky, které zároveň plní funkci podkladu pro vyhodnocení tribologických vlastností.

Z těchto naměřených sil se dále určuje koeficient tření, pro jeho výpočet byla stanovena síla  $F_h$ . Z důvodu popsání reálného nepříznivého stavu při tažení je v této práci při výpočtu koeficientu tření upřednostněna maximální síla  $F_h$ , které bylo dosaženo v ustálené oblasti měření protahovaného vzorku. Takto vypočítaný koeficient tření představuje tedy nejméně příznivý stav, který může z tribologického hlediska nastat při tváření daného materiálu a při respektování daných technologických podmínek. Tato bakalářská práce je zaměřena na protahování pásku metodou 1B a výsledný koeficient tření je tak dán vztahem:

$$\mu = \frac{F_h}{2 \cdot Q} \quad (5)$$

$$Q = p \cdot S \quad (6)$$

kde:

$Q$  ... normálová přitlačná síla [N]

$p$  ... kontaktní tlak v čelistech [MPa]

$S$  ... kontaktní plocha čelistí [mm<sup>2</sup>]

Naměřené hodnoty byly dále zpracovány dle postupu pro opakovaná měření. Hodnota aritmetického průměru  $\bar{x}$  byla určena dle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

kde  $x_i$  je hodnota při jednom měření,  $n$  je počet opakovaných měření.

Dále byla stanovena výběrová směrodatná odchylka (jednoho měření) s vztahem:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

### 3.2 Podmínky zkoušky

Rozsah tohoto experimentu je vymezen, jak už bylo řečeno, na modelování tření mezi přidržovačem a tažnicí (varianta 1B). Základním požadavkem pro získání vyhovujících výsledků měření je možnost změny jednotlivých technologických



parametrů. Samotné testování bylo zaměřeno na zjišťování vlivu druhu materiálu vzorku a čelistí nástroje, rychlosti posuvu materiálu v nástroji a použitého maziva na koeficient tření. Další podmínky testu (např. kontaktní tlak přidržovače, množství maziva a teplota nástroje) byly konstantního charakteru.

### 3.2.1 Testované materiály

#### ➤ Vlastnosti testovaných materiálů

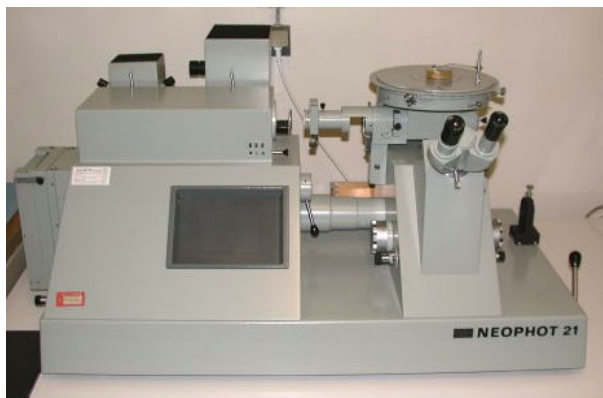
Pro tento experiment byly zvoleny dva korozivzdorné materiály. Jednalo se o materiál DIN 1.4301, značený jako vzorek 1 a materiál DIN 1.4306, značený jako vzorek 2. Stručný přehled obou materiálů je uveden v tab. 3 a podrobné materiálové listy v příloze P1 a P2.

Tab. 3: Přehled testovaných materiálů

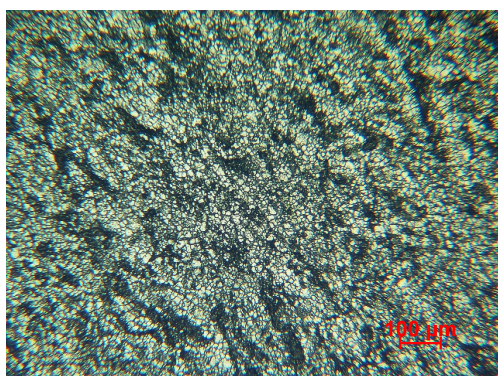
Materiál	DIN 1.4301	DIN 1.4306
Označení		
Jiné označení	X5CrNi 18-10	X2CrNi 19-11
Staré označení	ČSN 17240	ČSN 17249
Legování		
Cr	17-20 %	17-20 %
Ni	9-11,5 %	10-12,5 %
C	< 0,07 %	< 0,03 %
Mechanické vlastnosti		
Pevnost v tahu R <sub>m</sub>	490-686 MPa	441-686 MPa
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2	186 MPa	177 MPa
Tažnost A5	37%	37%
Odolnost		
Odolnost	proti korozi v prostředí běžného typu (voda, slabé kyseliny), náchylnost k mezikrystalové korozi	proti korozi v prostředí běžného typu (voda, slabé kyseliny), není náchylná k mezikrystalové korozi

#### ➤ Mikrogeometrie testovaných substrátů

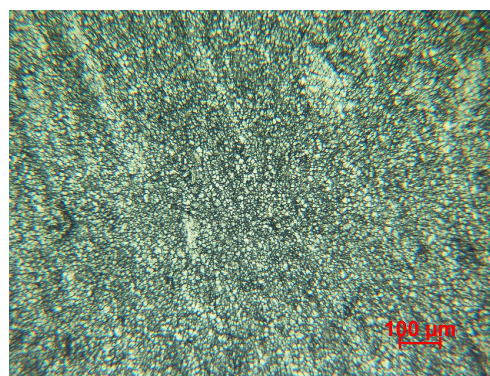
Povrch obou vzorků byl metalograficky vyhodnocen na optickém mikroskopu NEOPHOT 21 (obr. 3.5) a sledován v naleptaném stavu při stonásobném zvětšení (obr. 3.6 a obr. 3.7).



Obr. 3.5: Optický mikroskop NEOPHOT 21



Obr. 3.6: Povrch vzorku 1, zvětšeno 100x

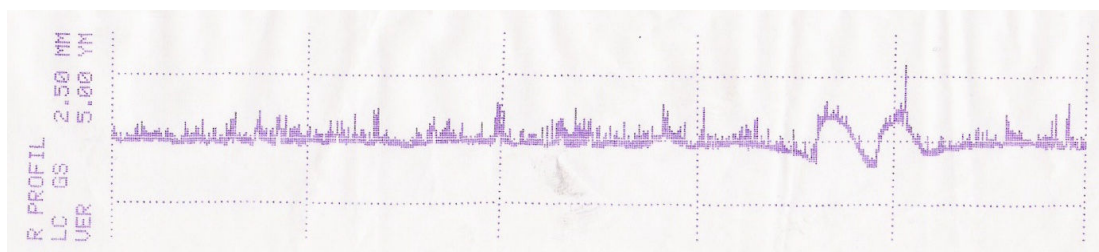


Obr. 3.7: Povrch vzorku 2, zvětšeno 100x

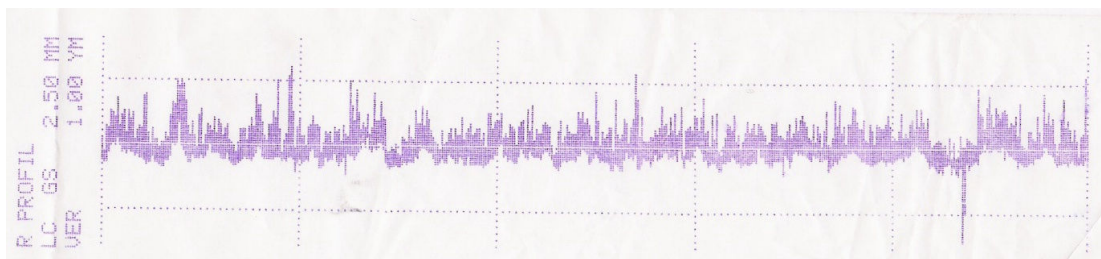
Drsnosti povrchů testovaných materiálů byly měřeny ve spolupráci se ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav. Pro měření drsnosti povrchu plechu byl použit drsnoměr PERTHOMETR M4Pi. Měření bylo provedeno na třech náhodně vybraných místech pro každý vzorek. Délka měřeného úseku  $L_t$  byla 15 mm a mezní vlnová délka  $L_c$  2,5 mm. Hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$  a počet výstupků  $RP_c$  jsou uvedeny v tab.4 a výsledný profil je na obr. 3.8 a obr. 3.9.

Tab. 4: Tabulka naměřených hodnot mikrogeometrie materiálů

Materiál	Hodnoty mikrogeometrie		
	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$RP_c$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]
1	0,37	3,92	16,7
2	0,17	1,82	1,7



Obr. 3.8: Profil drsnosti vzorku 1



Obr. 3.9: Profil drsnosti vzorku 2

### ➤ Příprava vzorků pro experiment

Na kvalitu naměřených výsledků má výrazný vliv příprava vzorků. Tabule plechu byly nejprve nastříhány na pásy příslušných rozměrů. Stříhání bylo provedeno na tabulkových nůžkách, u vzorků byl zohledněn směr válcování. Rozměry testovaných pásků, respektive délky měřených úseků vzorků, byly voleny s ohledem na rychlosti protahování a jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Rozměry vzorků pro jednotlivé rychlosti měření

Protahovací rychlost v [mm/s]	Délka měřeného úseku lp [mm]	Šířka pásku b [mm]	Tloušťka pásku s [mm]
1	100	45 ± 0,05	2,01
25	150	45 ± 0,05	2,01

Po nastříhání vzorků následovalo jejich odmaštění. Povrch vzorků se nejprve očistil navlhčenou textilií od hrubých nečistot vzniklých při stříhání a následně byly vzorky ponořeny do nádoby s acetonem a po vyjmutí otřeny suchou textilií. Pro testování tribologických podmínek bylo na vzorky nanášeno mazivo.

## 3.2.2 Mazivo

Při zkoumání tribologických vlastností byly použity dva druhy maziv, které si vyžádala sama firma. Tyto typy maziv byly zadány jako vstupní testovací podmínky pro zkoušení konkrétních typů korozivzdorných materiálů. Jedná se o mazivo Super Petrol Motor Oil 20W50 od výrobce Prolong (pro zjednodušení mazivo 1) a mazivo Sultex D220 od výrobce Texaco (pro zjednodušení mazivo 2). Jednotlivé charakteristiky maziv jsou uvedeny v tab. 6. Maziva byla nanášena v množství  $2 \pm 0,2$  g/m<sup>2</sup> a následně kontrolována zařízením pro kontrolu množství nanášeného maziva

na čtyřech místech každého vzorku IR aparátem od firmy Fuchs – Europe Schmierstoffe GmbH (obr 3.10).

Tab. 6: Charakteristiky maziv

Mazivo	Super Petrol Motor Oil 20W50	Sultex D220
Kinematická viskozita při 40 °C [mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	143,54	35,4
Specifikum	motorový olej	olej pro obrábění za studena
Charakteristika	odolný vysoké teplotě a prašnosti; snížení tření až do 14%, spotřeby paliva až do 5%, opotřebení motoru až do 70%	vhodné pro lisování; prodlužuje životnost nástrojů; nevhodný pro obrábění mědi a jejích slitin



Obr. 3.10: IR aparát od firmy Fuchs-Europe Schmierstoffe GmbH

### 3.2.3 Materiál nástroje

Nástrojem pro tažení byl přípravek na tribologickém zařízení SOKOL 400. Funkčními částmi přípravku byly dvě výměnné čelisti z nástrojové ocele, pro práci za studena, DIN 1.2379 (značeno jako čelisti 1) a DIN 1.2842 (značeno jako čelisti 2). Podrobné materiálové listy obou čelistí jsou v příloze P3 a P4.

### 3.2.4 Rychlost posuvu

Jak již bylo zmíněno, zařízení SOKOL 400 umožňuje protahování pásky při rychlostech 1 až 400 mm s<sup>-1</sup>. S ohledem na zadané podmínky tažení u lisovacích nástrojů pro korozivzdorné materiály byly zvoleny rychlosti posuvu 1 a 25 mm s<sup>-1</sup>, které tak odpovídají reálným technologickým podmínkám.

### 3.2.5 Kontaktní tlak

Kontaktní tlak pro zkoušku protahování pásku byl volen konstantní o velikosti 6 MPa, což je tlak, který se běžně používá v praxi při tažení výlisků. Tento tlak byl volen vzhledem k použitému testovanému materiálu (jako mezní přidržovací tlak) a s ohledem na velikost tlaků, ke kterým může dojít při tažení v nástroji.

### 3.2.6 Teplota nástroje

Teplota nástroje je jednou z technologických podmínek, která ovlivňuje velikost třecí síly a tím i tribologické vlastnosti plechů. Změnou teploty se změní podmínky tažení v závislosti na rychlosti pohybu. Pro ohřev obou čelistí zkušebního přípravku byla zvolena teplota  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  s ohledem na reálné teploty tažení.

## 4. Vyhodnocení výsledků experimentu

Podmínky měření:

- testovaný materiál: - DIN 1.4301  
- DIN 1.4306
- materiál nástroje: - DIN 1.2379  
- DIN 1.2842
- rychlost posuvu: -  $1 \text{ mms}^{-1}$   
-  $25 \text{ mms}^{-1}$
- mazivo: - Super Petrol Motor Oil 20W50  
- Sultex D220
- kontaktní tlak: - 6 MPa
- teplota nástroje: -  $40^\circ\text{C}$

Kombinace těchto vstupních podmínek daly základ k provedení 16ti měření, přičemž se každá varianta zkoušela dvakrát. Příklad měřícího protokolu je uveden na obr. 4.1 a jednotlivé protokoly jsou v příloze P5.

Vyhodnocení výsledků měření bylo zpracováno do grafů a tabulek, ze kterých lze zjistit přesně dosažených hodnot koeficientu tření v závislosti na vstupních podmínkách.

Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

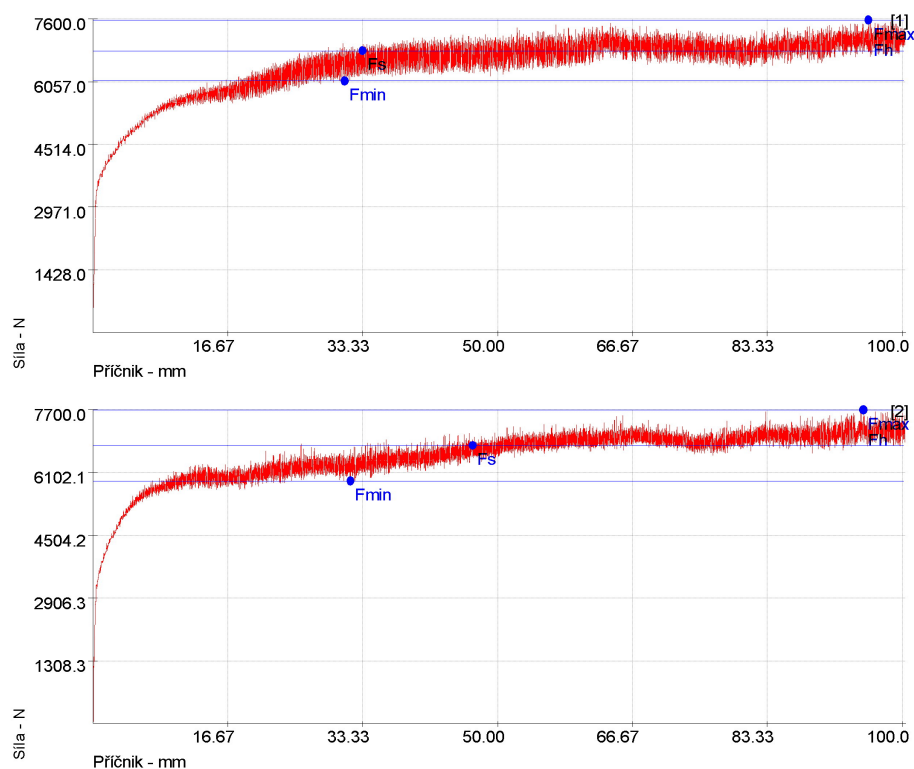
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 μm, Rz=3,92 μm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	7567	6817	6068	7567	1499
2	7693	6784	5874	7693	1819
x	7630	6800	5971	7630	1659
s	89.21	23.83	136.86	89.21	226.07



Obr. 4.1: Ukázka protokolu o měření

## 4.1 Vyhodnocení naměřených hodnot

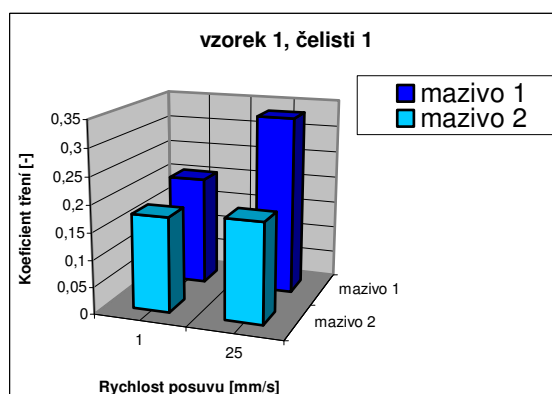
Výsledky naměřených hodnot jednotlivých zatěžujících sil jsou uvedeny v příloze P5 a v následující tab. 7 jsou prezentovány vypočtené koeficienty tření dle vzorce (5) a (6).



Tab. 7: Tabulka koeficientů tření

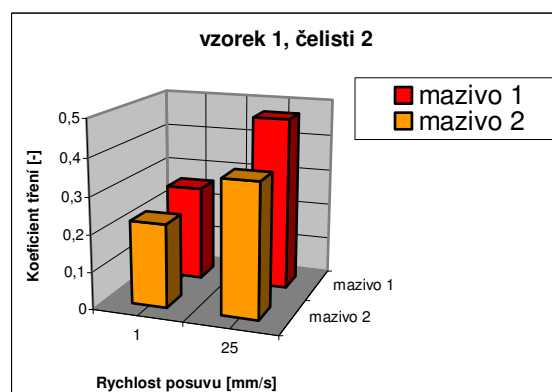
Rychlost posuvu [mm s <sup>-1</sup> ]	Materiál nástroje DIN 1.2379				Materiál nástroje DIN 1.2842			
	Vzorek DIN 1.4301		Vzorek DIN 1.4306		Vzorek DIN 1.4301		Vzorek DIN 1.4306	
	Mazivo 1	Mazivo 2	Mazivo 1	Mazivo 2	Mazivo 1	Mazivo 2	Mazivo 1	Mazivo 2
1	0,204	0,176	0,226	0,190	0,259	0,225	0,231	0,200
25	0,332	0,186	0,358	0,183	0,469	0,360	0,403	0,298

Obr. 4.2 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu při použití vzorku 1 a čelistí 1.



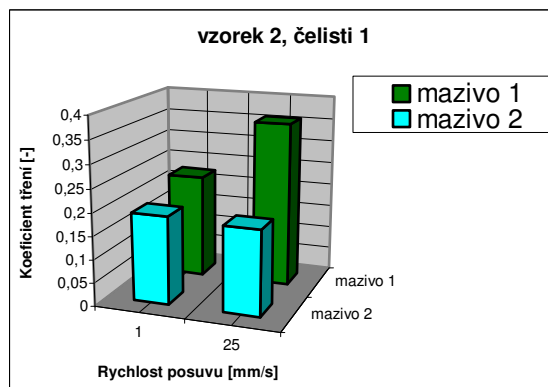
Obr. 4.2: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 1 a čelistí 1

Obr. 4.3 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu při použití vzorku 1 a čelistí 2.



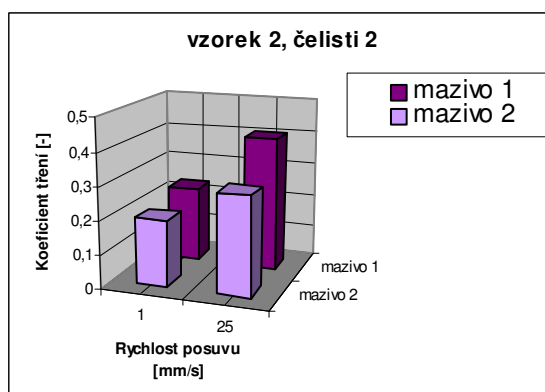
Obr. 4.3: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 1 a čelistí 2

Obr. 4.4 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a čelistí 1.



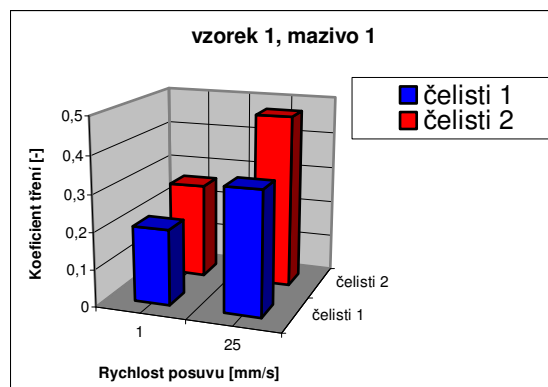
Obr. 4.4: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a čelistí 1

Obr. 4.5 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a čelistí 2.



Obr. 4.5: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a čelistí 2

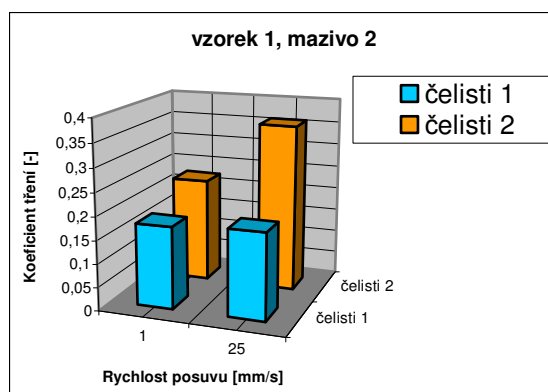
Obr. 4.6 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu při použití vzorku 1 a maziva 1.



Obr. 4.6: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 1 a maziva 1

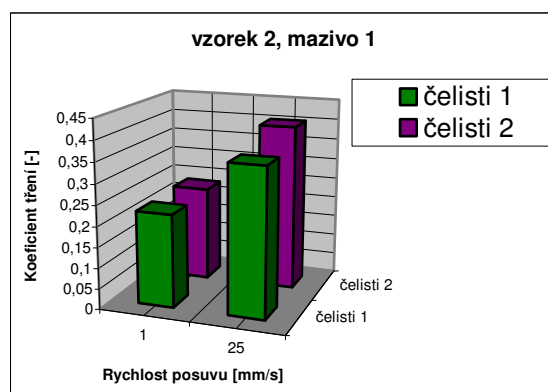


Obr. 4.7 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu při použití vzorku 1 a maziva 2.



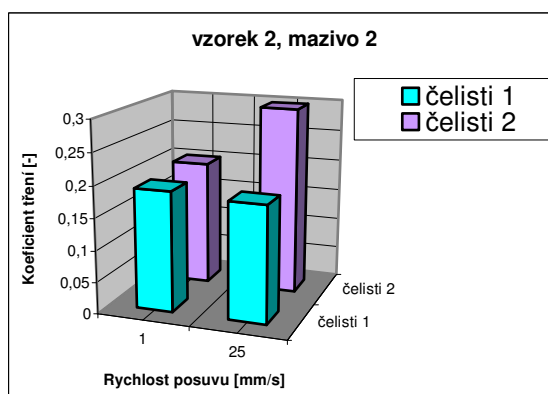
Obr. 4.7: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 1 a maziva 2

Obr. 4.8 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a maziva 1.



Obr. 4.8: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a maziva 1

Obr. 4.9 znázorňuje závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a maziva 2.



Obr. 4.9: Závislost koeficientu tření na rychlosti posuvu vzorku 2 a maziva 2

## 4.2. Diskuse naměřených hodnot

K posouzení tribologických vlastností testovaných materiálů, mazadel a použitého materiálu nástroje (čelistí) bylo použito zkoušky protahováním pásu. Při této zkoušce se modeluje tření mezi přidržovačem a tažnicí. Pro danou kombinaci technologických podmínek byly zjišťovány průběhy tažných sil, které následně sloužily pro výpočet koeficientu tření. Velikost kontaktního tlaku a rychlost posuvu značně ovlivňují velikost koeficientu tření a v kombinaci s ostatními faktory, jako například viskozita maziva nebo typ morfologie povrchu může ovlivnit technologické podmínky lisování takovým způsobem, že není možné vytvořit kvalitní výlisek.

Z naměřených výsledků, které jsou uvedeny ve formě koeficientu tření v tabulce 7 vyplývá, že:

- 1) Rychlost posuvu pro danou kombinaci testovaných podmínek (materiálu nástroje (čelistí), tvářeného materiálu a mazadla) negativně ovlivňuje koeficient tření. Pro všechny testované kombinace došlo při zvýšení rychlosti posuvu k nárůstu koeficientu tření. Výjimkou je pouze varianta s tvářeným materiálem č.1, materiálem čelistí č.2 a mazivem č.2, kde je koeficient tření srovnatelný pro obě testované rychlosti. Při poměrovém vyjádření vykazovala rychlost  $1 \text{ mms}^{-1}$  průměrně o 34% nižší koeficient tření než při rychlosti  $25 \text{ mms}^{-1}$ .
- 2) Testovaná maziva výrazně ovlivňují průběh tribologického testu. Mazivo označené jako č.2 vykazuje pro všechny kombinace tribologických testů nižší koeficient tření a to průměrně o 27% než mazivo č.1.
- 3) Materiál čelistí (nástroje) má vliv na výsledek tribologického testu. Materiál DIN 1.2379 má pro všechny testované kombinace průměrně o 24% nižší koeficient tření než materiál DIN 1.2842.
- 4) Tvářený materiál má vliv na průběh tribologického testu. Materiál s označením DIN 1.4301 vykazuje průměrně o 6% nižší hodnoty koeficientu tření než materiál DIN 1.4306.

Bakalářská práce byla orientovaná k tažení výlisků z korozivzdorných materiálů v podobě gastronomických přípravků, jako jsou nerezové hrnce aj. Korozivzdorné materiály mají v porovnání například s klasickými hlubokotažnými materiály značně odlišné mechanické vlastnosti, mikrogeometrie povrchu nerezů se

vyznačuje svým leštěným povrchem, což má negativní dopad na tribologické vlastnosti, neboť je zde problém s ulpíváním maziva na povrchu materiálu. Z těchto důvodů jsou také dosažené výsledky odlišné oproti jiným testovaným hlubokotažným materiálům na katedře strojírenské technologie.

## 5. Závěr

Bakalářská práce byla zadána s ohledem na požadavky firmy zabývající se výrobou gastronomických komponentů z korozivzdorných materiálů. Cílem bakalářské práce bylo pro dva dané testované (tvářené) materiály, dvě maziva a dva druhy materiálu nástroje zjistit nejvhodnější kombinaci z hlediska tribologických poměrů v soustavě nástroj-mazadlo-tvářený materiál. Z technologických podmínek byly vybrány parametry, které se dají předpokládat za důležité v hodnocení tribologických vlastností. Tomuto faktu byla také podřízena experimentální část bakalářské práce. S ohledem na výrobní zařízení firmy (hydraulické stroje pro tažení), byly voleny dvě rychlosti posuvu plechu 1 a 25 mm·s<sup>-1</sup> a velikost kontaktního tlaku 6 MPa.

Z rozboru výsledků uvedených v kap. 4.2 vyplývá, že pro zadané podmínky lze doporučit výrobu nástrojů pro tažení z materiálu DIN 1.2379. Pro výrobu gastronomických zařízení volit materiál DIN 1.4301 při použití maziva Sultex D220. Rychlost posuvu volit s ohledem na zadírání plechu co nejnižší. Cíle bakalářské práce byly tímto splněny a pro zadávající firmu vyplývají zcela jednoznačné závěry.

Laboratorní zkoušky ukázaly, že při vzrůstající rychlosti posuvu pásku koeficient tření roste, protože docházelo k zadírání a silnému opotřebení nástroje. Z toho lze usoudit, že firmou nebyly vybrány vhodné typy maziv. Jednalo se o olej používaný pro obrábění (Sultex D220 –mazivo č.2) a motorový olej (Super Petrol Motor Oil 20W50 -mazivo č.1). Použití těchto dvou typů mazadel se jeví jako silně diskutabilní a zcela jistě lze nalézt oleje primárně určené pro tažení korozivzdorných materiálů a vhodné pro daný typ výroby. Při použití specializovaného maziva by zcela jistě došlo k výraznému snížení koeficientu tření, opotřebení nástroje a poškození povrchu tvářeného materiálu.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] FOREJT, M.: *Teorie tváření*, VUT Brno, 1991
- [2] LENFELD, P.: *Technologie 2. – 1. část*, TU v Liberci, 2005
- [3] ŠAFR, E.: *Tribotechnika*, SNTL Praha, 1984
- [4] KOLNEROVÁ, M.: , *Vliv technologických podmínek na vznik zadírání pozinkovaných plechů při tažení*, Disertační práce, TU v Liberci, 2005
- [5] BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů. Sv.2.*, VUT Brno, 1983
- [6] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL B.: *Drsnost povrchu*, SNTL Praha, 1989
- [7] ŠTĚPINA, V.; VESELÝ, V.: *Maziva v tribologii*, Veda Bratislava, 1985
- [8] ČÍHAL, V.: *Korozivzdorné oceli a slitiny*, Academia Praha, 1999
- [9] FREMUNT, P.; PODRÁBSKÝ, T.: *Konstrukční oceli*, CERM Brno, 1996
- [10] KREIBICH, V.; HOCH, K.: *Koroze a technologie povrchových úprav*, ČVUT Praha, 1991
- [11] PLUHAR, J.: *Nauka o materiálech*, SNTL Praha, 1989



## **7. Seznam příloh**

Příloha 1	Materiálový list vzorku DIN 1.4301
Příloha 2	Materiálový list vzorku DIN 1.4306
Příloha 3	Materiálový list čelistí DIN 1.2379
Příloha 4	Materiálový list čelistí DIN 1.2842
Příloha 5	Zkušební protokoly protahování pásků



Příloha P1 str.1/2

ČSN 41 7240

Korozivzdorná austenitická ocel

OCEL

17 240

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,07	max 2,0	max 1,0	17,0–20,0	9,0–11,5	max 0,045	max 0,030

Polotovary

[1] tyče

[2] plechy

[3] trubky bezešvé

[4] tlusté plechy

Mechanické vlastnosti

Polotovary	[1]			[2]				
Rozměr t, d [mm]	< 60	60–100	100–150	< 10	10–30			
Slav	.4			.4				
Mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa] min	186			186				
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	490–686			490–686				
Tažnost $A_5$ [%] min	50	45	40	37	34			
Vrubová houževnatost	podél 196	podél 137	podél 98	—	podél 137			
KCU 3 [J.cm <sup>2</sup> ] min		napříč 98	napříč 68		napříč 98			
Polotovary	[3]			[4]				
Rozměr t, d [mm]	do 89			30–80				
Slav	.4			.4				
Mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa]	186			181				
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	490–735			481–672				
Tažnost $A_5$ [%]	40			37				
Vrubová houževnatost	—			podél 132				
KCU 3 [J.cm <sup>2</sup> ] min				napříč 98				
Modul pružnosti E [GPa]	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	
za zvýšených teplot	199	194	186	179	172	164	—	
Nejnižší mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa]	20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
za zvýšených teplot	186	177	157	142	127	118	109	98

Fyzikální vlastnosti

Hustota $\rho$ [kg . m <sup>-3</sup> ] . 10 <sup>3</sup> při 20 °C	Měrná tepelná kapacita $c_p$ [J.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost $\lambda_1$ [W.m <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	Rezistivita $\rho$ [Ω.m]		
7,9	500	14,7	730.10 <sup>-9</sup>		
Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha$ [K <sup>-1</sup> ] . 10 <sup>-6</sup>	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
	16	17	17	18	18



Příloha P1 str.2/2

Odolnost proti deformačním procesům																			
ODOLNOST PROTI KOROZI																			
odolnost proti plošné korozi – odolává kyselině dusičné, slabým roztokům organických kyselin; odolnost proti korozi lze zvýšit leštěním; tvářením zastudena se korozivzdornost mírně snižuje																			
odolnost proti mezikrystalové korozi – ve srovnání s ocelí 17 241 odolává lépe; při aplikaci svaru v silném korozním prostředí, nutno přezíhat celou součást s následujícím ochlazením na vzduchu																			
ODOLNOST PROTI ŽARU																			
na vzduchu	do 850°C																		
v oxidačním sirném prostředí (obsahujícím SO <sub>2</sub> )	do 750°C																		
v redukčním sirném prostředí (obsahujícím H <sub>2</sub> S)	do 600°C																		
v páře	do 750°C																		
ve směsných plynech	do 550°C																		
ODOLNOST PROTI TEČENÍ																			
Mez pevnosti při tečení v tahu [MPa] (střední hodnoty)																			
Teplota [°C]	560	580	600	620	640	660	680	700											
R <sub>mT</sub> /10 <sup>4</sup>	163,8	142,2	121,6	104	87,3	72,6	60,8	48,1											
R <sub>mT</sub> /3.10 <sup>4</sup>	135,3	114,7	96,1	80,4	66,7	54,9	44,1	(35,3)											
R <sub>mT</sub> /5.10 <sup>4</sup>	122,6	103,0	85,3	71,6	57,9	47,1	(36,3)	(27,5)											
R <sub>mT</sub> /10 <sup>5</sup>	104,9	89,2	73,5	60,8	50,0	(40,2)	(30,4)	(22,6)											
Technologické údaje																			
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ																			
rozpouštěcí žhání	1 020–1 080 °C			ochlazovat podle tloušťky na vzduchu nebo ve vodě															
žhání ke snížení prnutí	850–950°C			ochlazovat na vzduchu															
TVAŘITELNOST																			
teploty tváření	1 150–850 °C			ochlazovat na vzduchu															
SVAŘITELNOST																			
zaručená	doporučené přídavné materiály – elektroda VÚS-A3F																		
OBROBITELNOST			soustružení, hoblování			frézování, vrtání													
[1] [2]	.4		9b		9b														
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY																			
zkouška hloubením podle Erichsena na 1 mm plechu 13																			
Použití																			
Austenitická, svařitelná, nestabilizovaná, korozivzdorná ocel vhodná pro chemické zařízení včetně tlakových nádob. Vhodná pro prostředí oxidační povahy pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot. Lze ji použít též pro prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu (farmaceutický a potravinářský průmysl).																			
Ostatní vlastnosti																			
Druh oceli podle způsobu výroby			Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030													
elektroocel			červená–černá–želená			026													



Příloha P2 str.1/2

ČSN 41 7249

Austenitická korozivzdorná Cr-Ni ocel

OCEL

17 249

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,03	max 2,00	max 1,00	17,0–20,0	10,0–12,5	max 0,045	max 0,030

Polotovary

[1] tyče tvářené za tepla

[4] bezešvé trubky tvářené za studena

[2] plechy válcované za tepla

[5] tlusté plechy válcované za tepla

[3] bezešvé trubky tvářené za tepla

Mechanické vlastnosti

Polotovary		[1]			[2]	
Rozměr t, d [mm]		≤ 60	60–100	100–150	≤ 10	10–30
Stav		.4			.4	
Mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa] min		177			177	
Mez kluzu $R_p$ 1,0 [MPa] min		216			216	
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]		441–686			441–686	
Tažnost $A_5$ [%] min		50	45	40	37	34
Vrbová houževnatost KCU 3 [J.cm <sup>-2</sup> ] min	podél	196	135	98	–	137
	napříč	–	98	69	–	98
Tvrdość HB		–			–	
Modul pružnosti E [GPa]		200				
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]		–				
Polotovary		[3]		[4]		[5]
Rozměr t, d [mm]		≤ 89		≤ 80		30–80
Stav		.4		.4		.4
Mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa] min		177		177		175
Mez kluzu $R_p$ 1,0 [MPa] min		216		216		215
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]		441–735		441–735		440–690
Tažnost $A_5$ [%] min		45		45		napříč 37
Vrbová houževnatost KCU 3 [J.cm <sup>-2</sup> ] min	podél	–		–		125
	napříč	–		–		90
Vrbová houževnatost KCV <sup>-196</sup> [J.cm <sup>-2</sup> ] min	podél	–		–		70
	napříč	–		–		50
Modul pružnosti E [GPa]		200				
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]		–				
Teplota [°C]		100		200		400
Modul pružnosti E [GPa] za zvýšených teplot		195		185		170
						155
						135





Příloha P2 str.2/2

Teplota [°C]	-190	-150	-100	-50	-20	+20		
Nejnižší mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa] za nízkých teplot	260	250	240	230	220	210		
Nejnižší pevnost $R_m$ [MPa] za nízkých teplot	1 320	1 180	1 030	830	730	540		
Nejnižší tažnost $A_5$ [%] min	42	47	52	54	60	65		
Nejnižší houževnatost KCV [J.cm <sup>2</sup> ] min	100	110	110	140	150	150		
Nejnižší mez kluzu za zvýšených teplot								
Teplota [°C]	50	100	200	300	400	450	500	550
$R_p$ 0,2 [MPa]	166	147	117	98	88	83	78	78
$R_p$ 1,0 [MPa]	201	181	147	127	117	112	107	107
<b>Fyzikální vlastnosti</b>								
Hustota $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	Měrná tepelná kapacita $c_p$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]		Tepelná vodivost $\lambda_t$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		Rezistivita $\rho$ [Ω.m]	
7 900	440		16,0.10 <sup>-6</sup>		14,7		700.10 <sup>-9</sup>	
<b>Odolnost proti degradačním procesům</b>								
ODOLNOST PROTI PLOŠNÉ KOROZI velmi dobře odolává silně oxidujícím kyselinám, silných organickým kyselinám (kyselina sírová) odolává jen při malých koncentracích a při středních teplotách; ve slabých organických kyselinách je odolná do středních koncentrací a teplot při provzdušnění; je méně náchylná k nožové korozi								
MEZIKRYSTALOVÉ KOROZI odolnost proti mezikryсталové korozi je zaručená, včetně svarových spojů při dlouhodobém působení teplot do 350 °C; odolává jen po krátkodobém ohřevu při teplotách 500–700 °C během svařování; při dlouhodobé expozici v oblasti těchto teplot není mezikryсталová koroze vyloučena								
ODOLNOST PROTI OXIDACI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT na vzduchu do 850 °C v páře do 750 °C ve směsných plynech do 550 °C								
ODOLNOST PROTI TEČENÍ Mez pevnosti při tečení v tahu $R_{m1}$ [MPa] (střední hodnoty)								
Teplota [°C]	550	600	650	700	725	750	775	800
$R_{m1}/10^5$	92	59	36	18	14	10	8	6
<b>Technologické údaje</b>								
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ rozpuštěcí žihání 1 020–1 080 °C ochlazovat podle tloušťky buď na vzduchu nebo ve vodě žihání ke snížení prnutí 850–950 °C 10–15 min na teplotě, ochlazovat na vzduchu								
TVÁŘITELNOST teploty tváření 1 150–850 °C ochlazovat na vzduchu								
SVAŘITELNOST dle ČSN 05 1310 – zaručená								
OBROBITELNOST			soustružení, hoblování			frézování, vrtání		
pořadí 1) stav .4			9b			9b		
[2]			9b			9b		
[5]			9b			9b		



Příloha P3 str.1/2

ČSN 41 9314

STN 41 9314

Nástrojová nízkolegovaná Mn-Cr-W-V ocel

pro práci za studena

OCEL

19 314

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	W	V	P	S
0,90–1,00	1,00–1,30	0,20–0,40	0,45–0,70	0,45–0,70	0,05–0,20	max 0,030	max 0,035

Polotovary

[1] lyče válcované za tepla

Mechanické vlastnosti

Polotovar	[1]	
Rozměr t, d [mm]	–	20
Slav	.3	kalený a popuštěný
Mez kluzu $R_e$ nebo $R_p 0,2$ [MPa]	–	–
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	–	–
Tažnost $A_5$ [%]	–	–
Kontrakce Z [%]	–	–
Vrubová houževnatost KCU 2 [J.cm <sup>2</sup> ]	–	–
Tvrdost HB	max 240	57–65 HRC (K.t.820 °C/olej; P.t.100–300 °C/2 h)
Modul pružnosti E [GPa]	–	
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	–	

Fyzikální vlastnosti

Hustota $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	Měrná tepelná kapacita $c_p$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost $\lambda_t$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Rezistivita $\rho$ [Ω.m]
7 870	–	13,6.10 <sup>-6</sup>	39	–



Příloha P3 str.2/2

Technologické údaje				
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ				
žhánání na měkko	690–710 °C	ochlazovat ve vypnuté peci, 4 h na teplotě		
žhánání ke snížení prnutí	600–650 °C	ochlazovat ve vypnuté peci, 1–2 h na teplotě		
kalení	780–800 °C	ochlazovat v oleji – malé kusy – min 63 HRC		
	800–820 °C	ochlazovat v oleji – velké kusy – min 63 HRC		
popouštění	100–300 °C	ochlazovat na vzduchu		
prokalitelnost	v celém průřezu		max do 40 mm	
závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě				
teplota [°C]	100	150	200	250 300
tvrdost HRC	64	63	61	58 56
teploty přeměn	$A_{c1} \sim 730 \text{ °C}$	$A_{c3} \sim 755 \text{ °C}$		$M_s \sim 210 \text{ °C}$
TVARITELNOST				
dobrá				
teploty tváření	1 070–850 °C		ochlazovat v popelů	
SVAŘITELNOST				
obtížná				
OBROBITELNOST				
pololovar [1] stav .3	soustružení, hoblování		frézování, vrtání	broušení
	11b		11b	8b
Použití				
Formy, jako např. malé formy pro tváření plastických hmot a pryže, formy pro lisování keramických materiálů, porcelánu a jiných práškových hmot, pomocné díly lisů a tlakových komor.				
Nástroje pro stříhání, jako např. všechny druhy zejména tvarově složitých nástrojů pro stříhání na lisech a děrování materiálů malých tloušťek.				
Nástroje pro tváření, tj. raznice pro materiály malých tloušťek, nebo tvarovaná lisovadla, ohýbadla, ťažidla.				
Měřidla – různé druhy dílenských měřidel.				
Ruční nástroje – různé druhy závilových nástrojů.				
Ostatní vlastnosti				
Druh oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010		Třída odpadu podle ČSN 42 0030
elektroocel		hnědá - růžová - zlatá		061



Příloha P4 str.1/2

ČSN 41 9573

Nástrojová vysokolegovaná Cr-V-Mo  
ocel pro práci za studena

OCEL  
19 573

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
1,40–1,65	0,20–0,45	0,20–0,45	max 0,030	max 0,035	11,0–12,5	0,60–0,95	0,80–1,20

Polotovary

[1] tyče válcované nebo kované za tepla

– kruhové

– čtvercové

– ploché

Mechanické vlastnosti<sup>1)</sup>

Polotovary	[1]
Rozměr l, d [mm]	20
Stav	kalený a popuštěný
Mez kluzu R <sub>e</sub> nebo R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	–
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	–
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	–
Kontrakce Z [%]	–
Vrubová houževnatost KCU 2 [J . cm <sup>-2</sup> ]	–
Tvrdost HRC	~ 60–61 (K. l. 1 000 °C/olej; P. l. 200 °C/2 h)
Mez kluzu v tlaku R <sub>et</sub> [MPa]	~ 3 000 (při 60–61 HRC)
Pevnost v ohybu R <sub>mo</sub> [MPa]	~ 3 100 (při 60–61 HRC)
Polotovary	[1]
Rozměr l, d [mm]	20
Stav	kalený ze zvýšené teploty, sekundárně vylvrzený
Mez kluzu R <sub>e</sub> nebo R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	–
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	–
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	–
Kontrakce Z [%]	–
Vrubová houževnatost KCU 2 [J . cm <sup>-2</sup> ]	–
Tvrdost HRC	~ 60–61 (K. l. 1 050 °C/olej; P. l. 525 °C/1×2 h)
Mez kluzu v tlaku R <sub>et</sub> [MPa]	~ 2 900 (při 60 HRC)
Pevnost v ohybu R <sub>mo</sub> [MPa]	~ 3 000 (při 60 HRC)

Fyzikální vlastnosti<sup>2)</sup>

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Rezistivita
ρ [kg . m <sup>-3</sup> ]	c <sub>p</sub> [J . kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	α [K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>t</sub> [W . m <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [Ω . m]
7 720	–	12,2 . 10 <sup>-6</sup>	~ 30	–



**Příloha P4 str.2/2**

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

žhánání na měkko760–790 °C

ochlazovat pomalu v peci – max 250 HB

žhánání ke snížení prnutí kalení<sup>3)</sup>600–650 °C

ochlazovat pomalu v peci

a) 980–1 030 °C

ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni

b) 1 040–1 080 °C

450–500 °C – min 61 HRC

c) 1 040–1 080 °C

ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni

450–500 °C – min 60 HRC

kalení na sekundární tvrdost

popouštění

a) 100–300 °C/1×2 h

b) 500–550 °C/1×2 h

inf. tvrdost 59–61 HRC

prokalitelnost

velká, prakticky v celém průřezu používaných nástrojů

závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě

popouštěcí teplota [°C]	100	150	200	250	300
tvrdost HRC	63	62	61	59	58

TVARITELNOST – obtížná

teploty tváření1 050–850 °C

SVARITELNOST

velmi obtížná

OBROBITELNOST

soustružení, hoblovánífrézování, vrtáníbroušení

stav .3

10 b9 b6 b

Použití

Nástroje ke stříhání za studena – nástroje ke stříhání materiálů do tloušťky asi 10 mm, materiálů o vysoké pevnosti, materiálů s keramickým povlakem, rotorových plechů, plechů z nerezavějících ocelí ap., např. nože tabulových nůžek, kruhové nůžky, nože na stříhání drátů.

Nástroje pro tváření za studena – nástroje k protlačování a tlacení i při vysokých tlacích, tvarovací lisovadla, tažidla, průvlaky, nástroje ke tváření závitů, hladké i profilové válce, razidla a kovádla.

Formy – velmi namáhané formy a jejich části pro tváření plastů, formy na lisování prášků, na sklo, porcelán a keramické materiály.

Řezné nástroje – nástroje k obrábění materiálů nízké pevnosti, dřeva a ostatních nekovových materiálů – nože, frézy, protahovací a protlačovací nástroje na drcení a mletí – např. kladiva drtičů a čelisti pro jemné drcení a mletí.

Ostatní vlastnosti

Druhy oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN ČSN 42 0030
elektroocel	—	037



Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

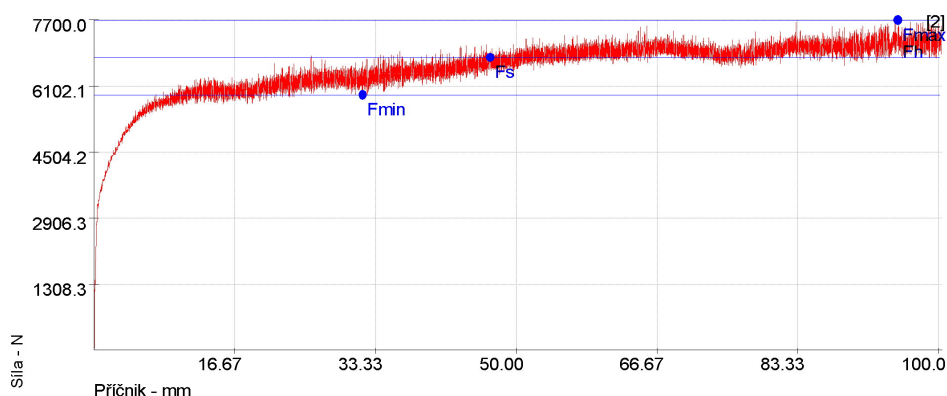
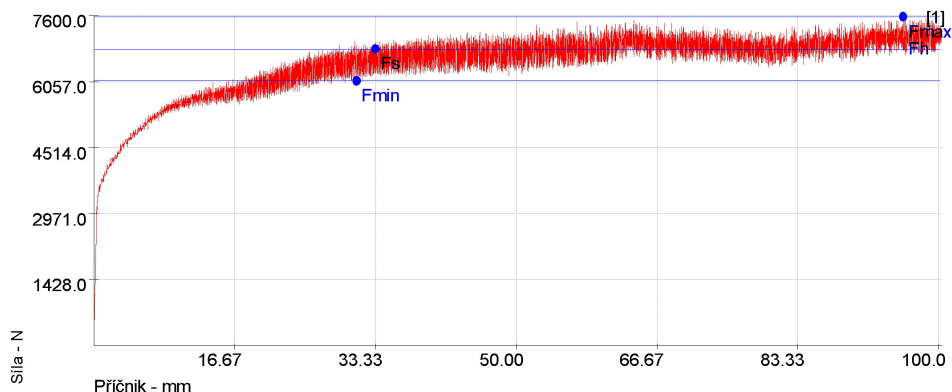
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 µm, Rz=3,92 µm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	7567	6817	6068	7567	1499
2	7693	6784	5874	7693	1819
x	7630	6800	5971	7630	1659
s	89.21	23.83	136.86	89.21	226.07





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

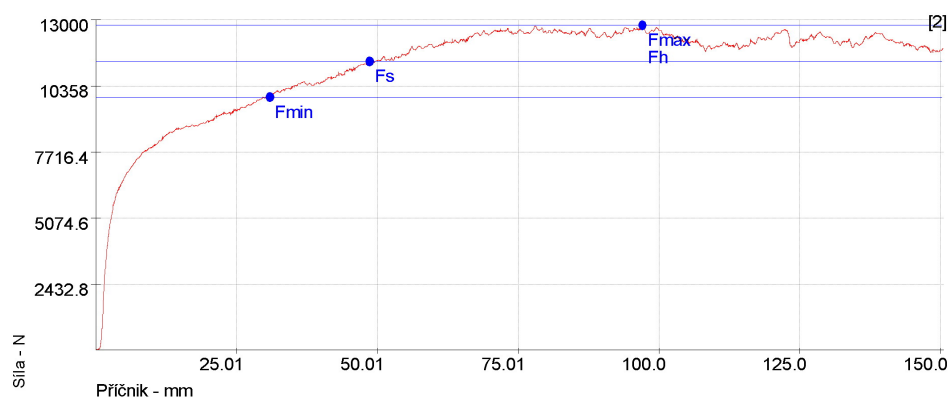
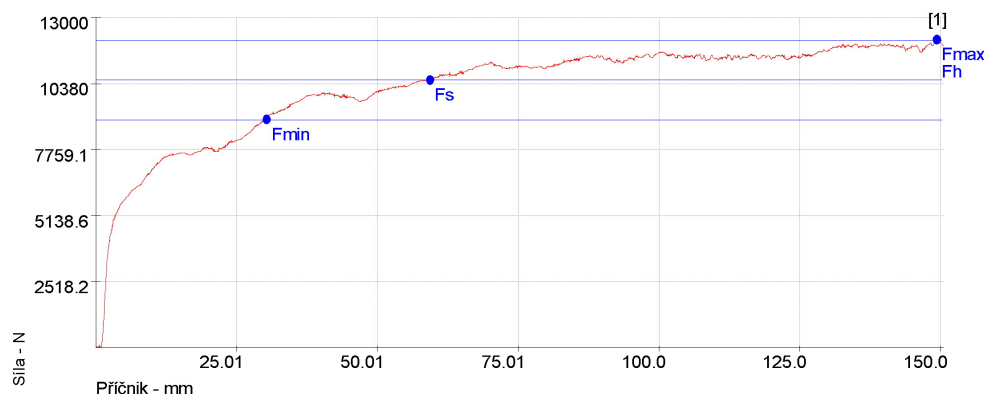
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m2	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 µm, Rz=3,92 µm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	12116	10526	8936	12116	3180
2	12776	11332	9887	12776	2889
x	12446	10929	9411	12446	3035
s	466.98	569.75	672.52	466.98	205.54





Příloha P5 str.3/16

## Technická univerzita v Liberci Katedra strojírenské technologie

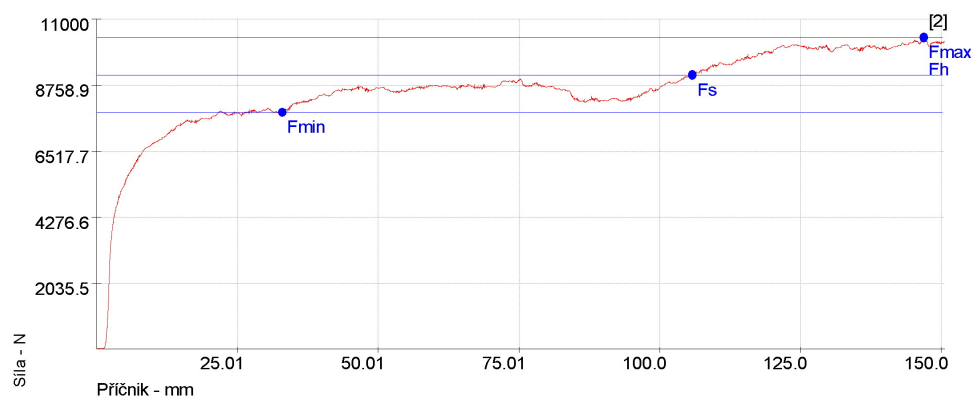
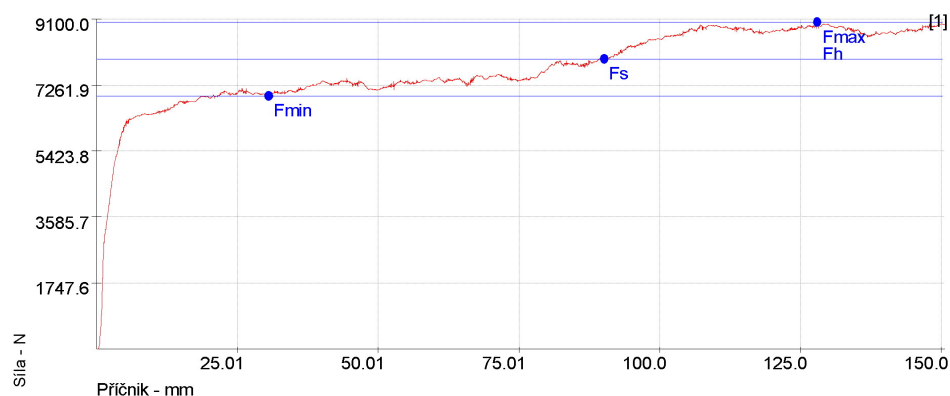
# Zkouška protahováním pásku

### Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 μm, Rz=3,92 μm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

### Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	9010	7981	6952	9010	2059
2	10374	9098	7822	10374	2552
x	9692	8539	7387	9692	2305
s	964.13	789.78	615.44	964.13	348.69







Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

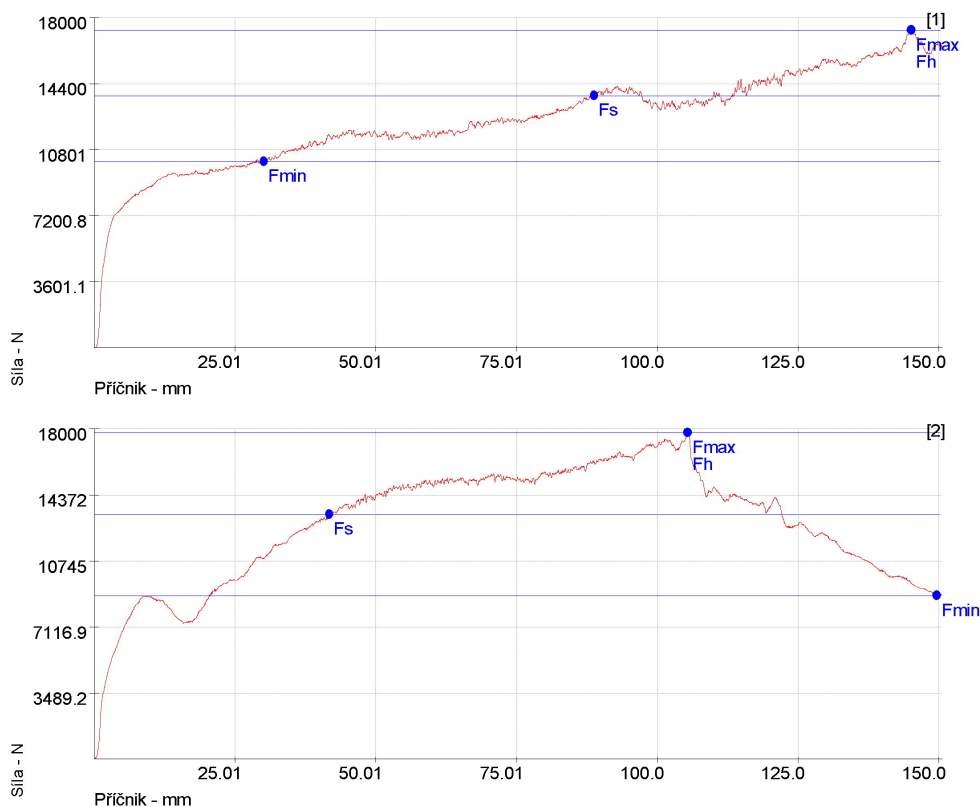
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 µm, Rz=3,92 µm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	17320	13746	10172	17320	7148
2	17791	13312	8832	17791	8959
x	17556	13529	9502	17556	8054
s	333.56	306.79	947.13	333.56	1280.69





Příloha P5 str.5/16

## Technická univerzita v Liberci Katedra strojírenské technologie

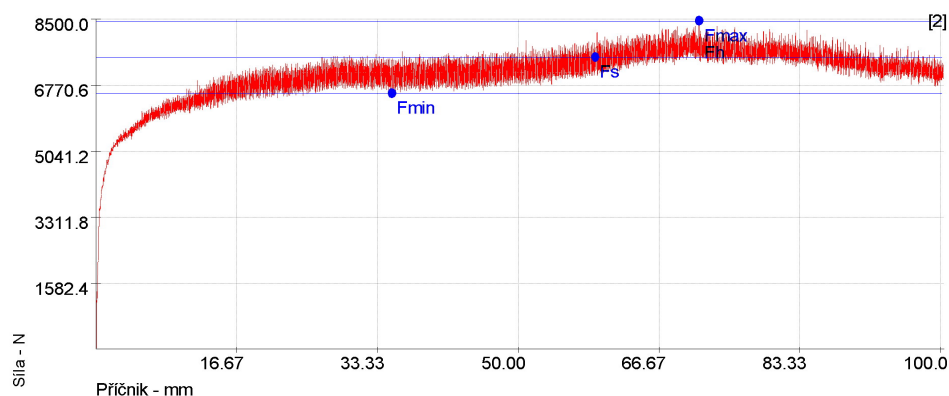
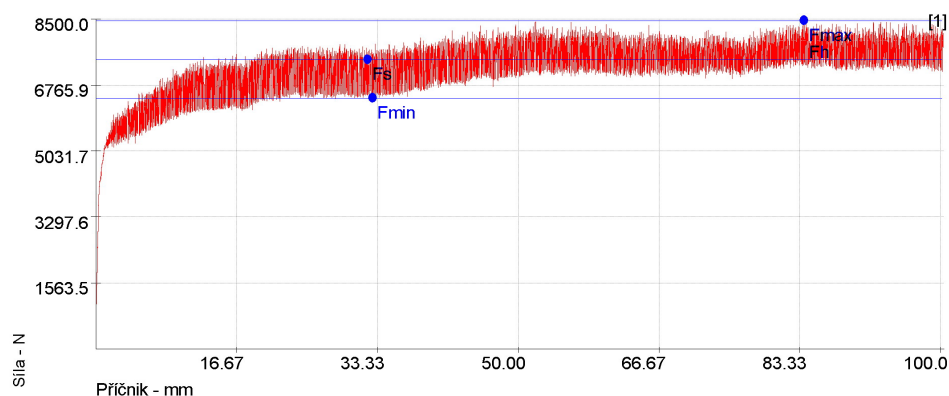
# Zkouška protahováním pásku

### Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : Ra=0,17 μm, Rz=1,82 μm, PC=2 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

### Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	8454	7442	6430	8454	2023
2	8449	7499	6549	8449	1901
x	8452	7471	6490	8452	1962
s	3.14	40.28	83.71	3.14	86.85





Příloha P5 str.6/16

## Technická univerzita v Liberci Katedra strojírenské technologie

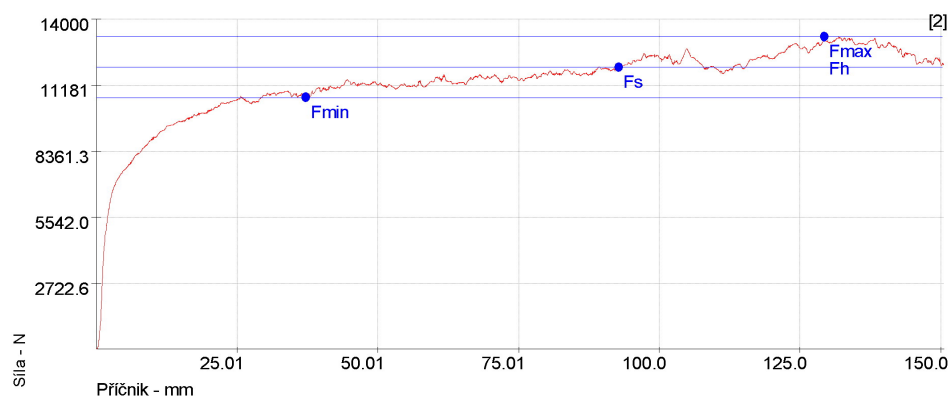
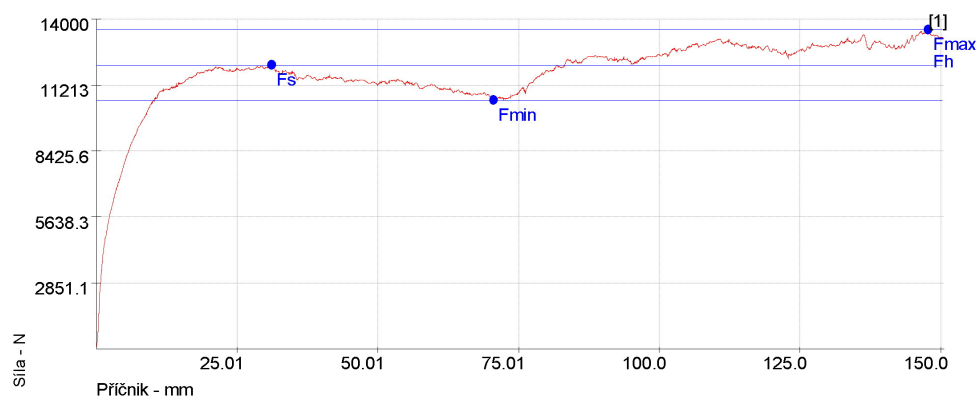
# Zkouška protahováním pásku

### Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : Ra=0,17 μm, Rz=1,82 μm, PC=2 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

### Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	13543	12058	10573	13543	2970
2	13251	11946	10641	13251	2609
x	13397	12002	10607	13397	2790
s	206.92	79.48	47.95	206.92	254.86





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

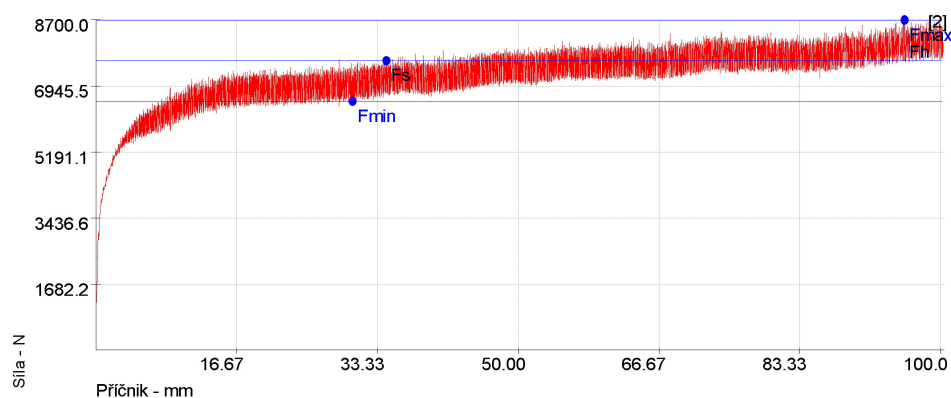
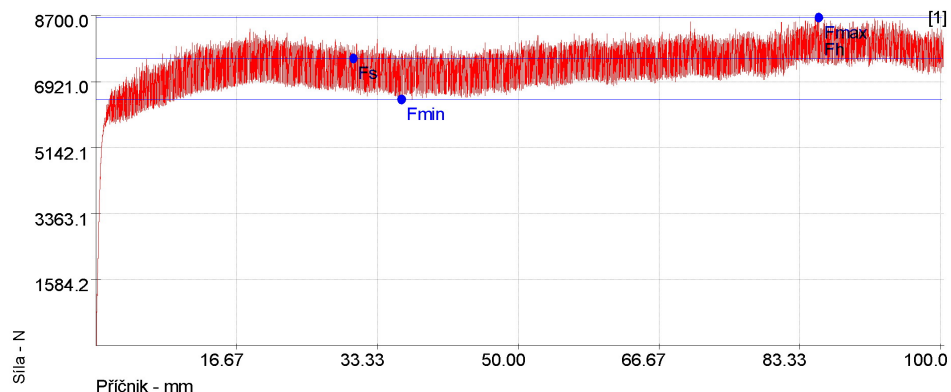
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : $R_a=0,17 \mu\text{m}$ , $R_z=1,82 \mu\text{m}$ , $PC=2 \text{ 1/cm}$		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	8635	7532	6429	8635	2206
2	8687	7606	6525	8687	2162
x	8661	7569	6477	8661	2184
s	36.94	52.37	67.79	36.94	30.85





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

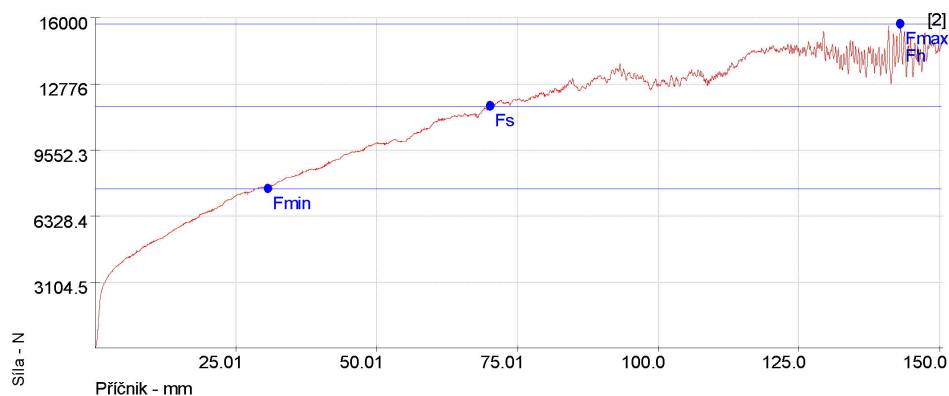
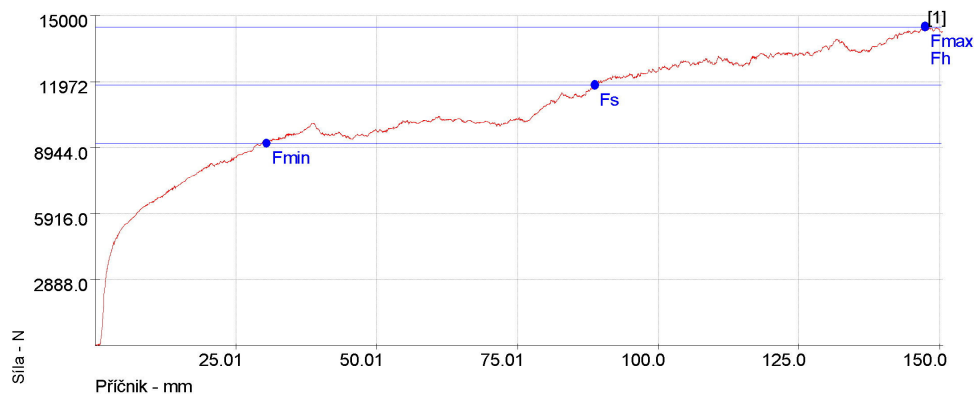
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : Ra=0,17 μm, Rz=1,82 μm, PC=2 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	14478	11807	9135	14478	5342
2	15701	11682	7663	15701	8038
x	15089	11744	8399	15089	6690
s	864.90	88.23	1041.35	864.90	1906.25





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

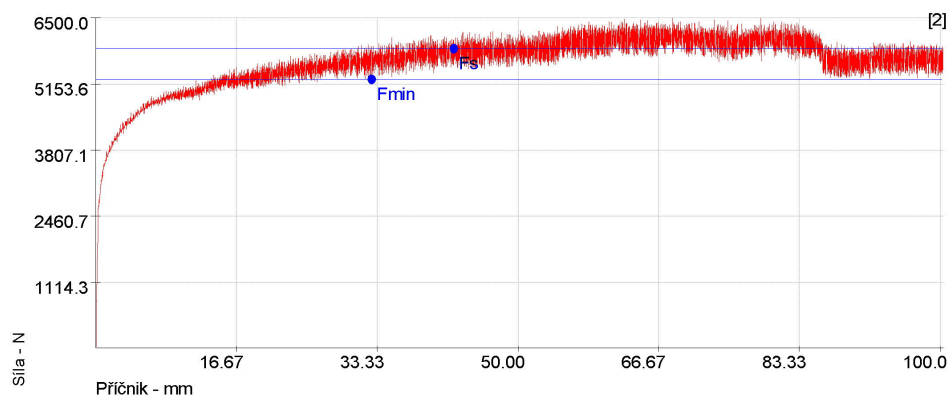
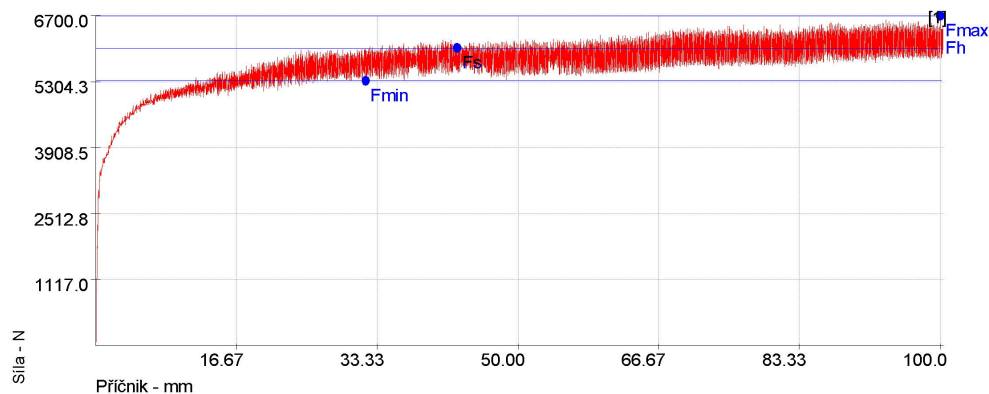
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 μm, Rz=3,92 μm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	6694	6007	5319	6694	1376
2	6500	5869	5237	6500	1262
x	6597	5938	5278	6597	1319
s	137.55	97.51	57.48	137.55	80.07





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

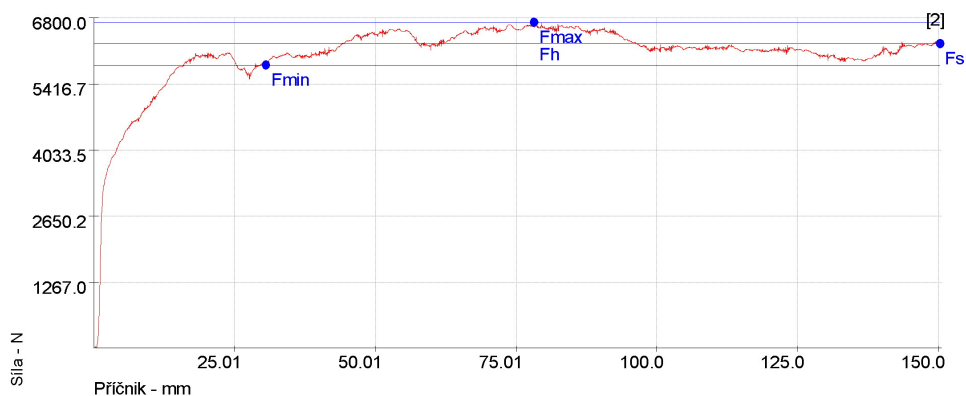
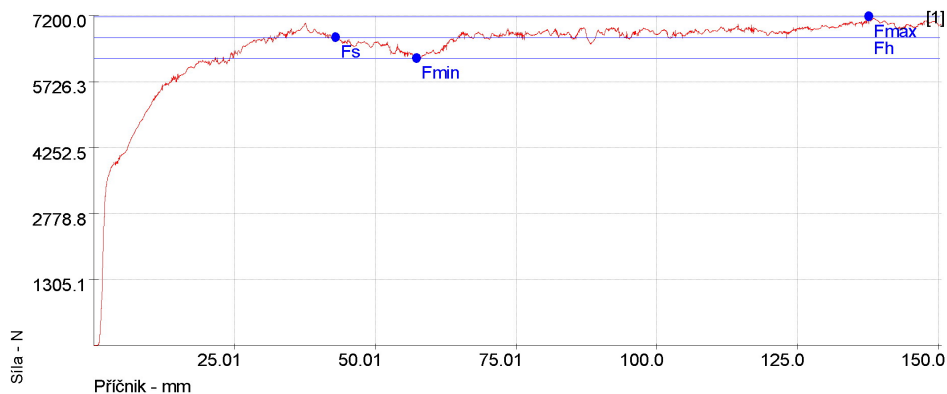
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 μm, Rz=3,92 μm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	7178	6711	6244	7178	934
2	6709	6257	5805	6709	904
x	6944	6484	6024	6944	919
s	331.89	321.28	310.67	331.89	21.22





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

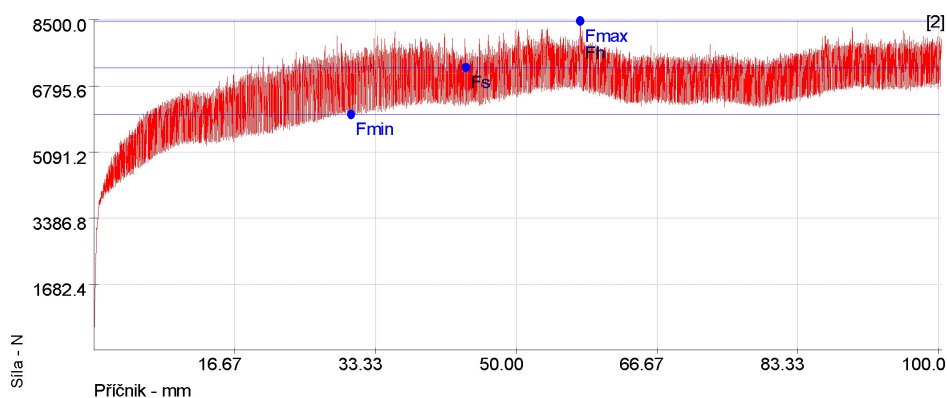
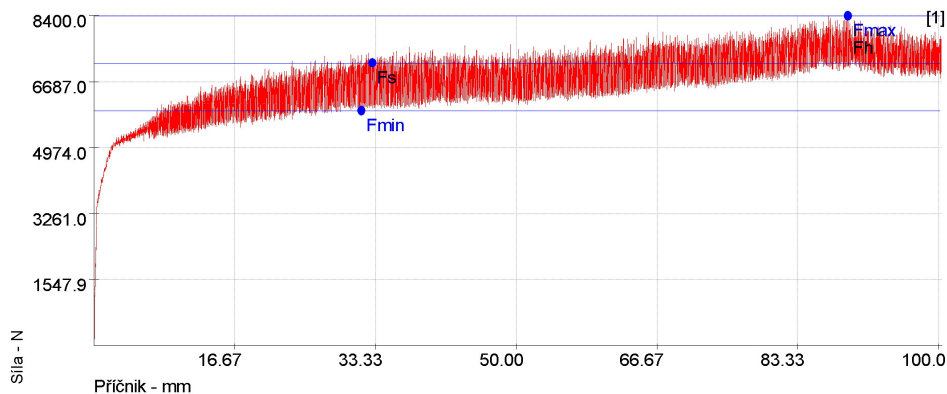
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 µm, Rz=3,92 µm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	8396	7164	5932	8396	2464
2	8461	7261	6060	8461	2401
x	8429	7212	5996	8429	2433
s	46.08	68.48	90.88	46.08	44.80







Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

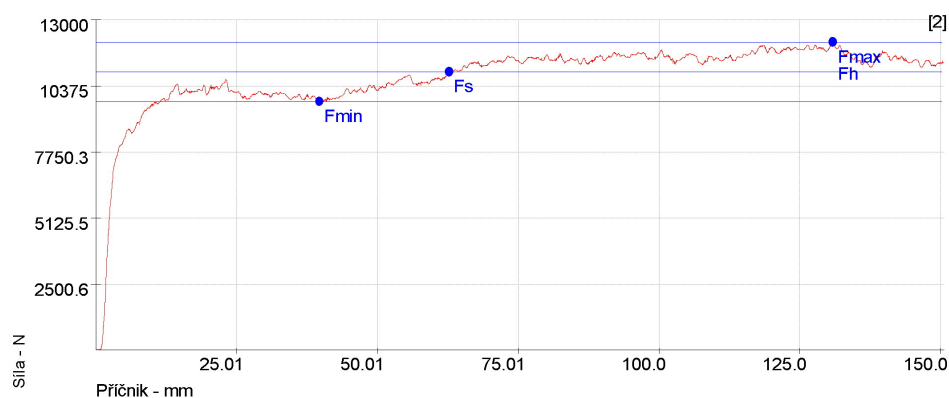
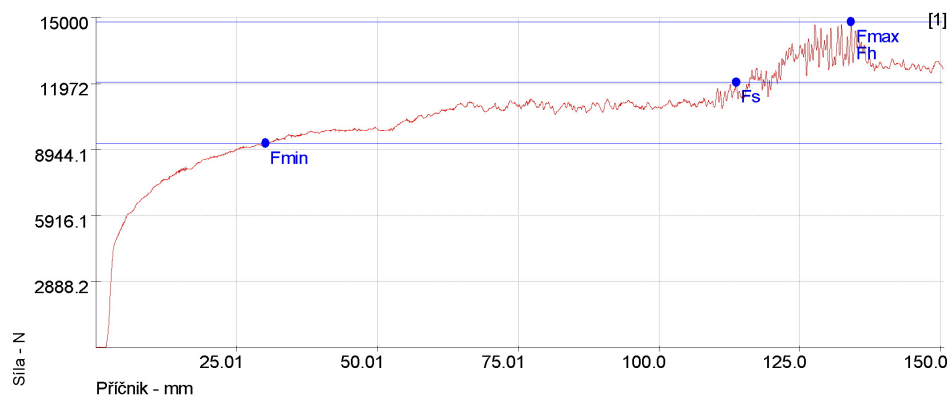
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17240 - 304	Varianta :	1B
Drsnost materiálu Ra=0,37 μm, Rz=3,92 μm, PC=17 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	14808	12020	9231	14808	5577
2	12115	10932	9748	12115	2368
x	13462	11476	9490	13462	3972
s	1904.09	769.40	365.29	1904.09	2269.38





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

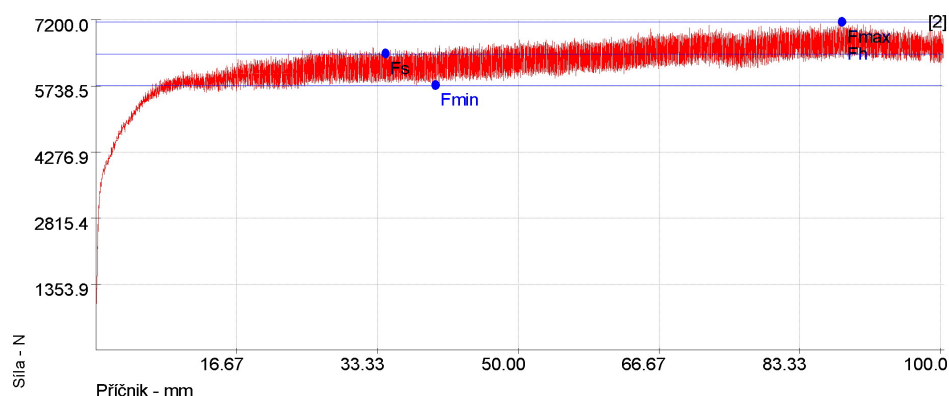
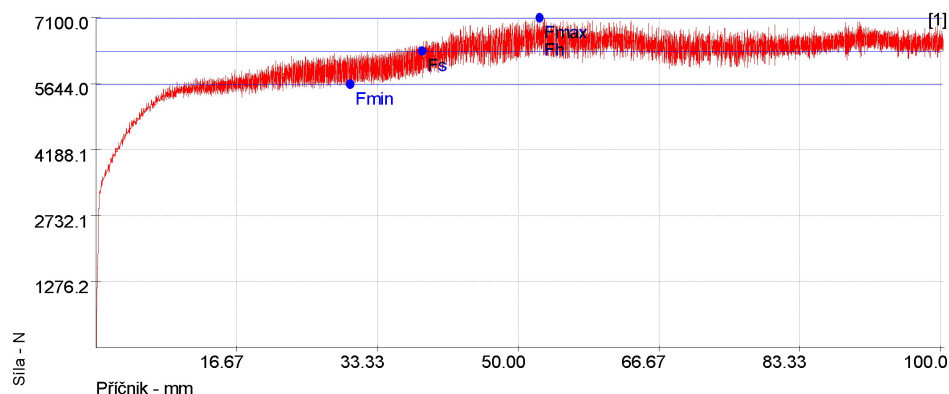
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : Ra=0,17 μm, Rz=1,82 μm, PC=2 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	7088	6355	5622	7088	1465
2	7146	6450	5755	7146	1391
x	7117	6403	5689	7117	1428
s	41.17	67.30	93.44	41.17	52.27





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

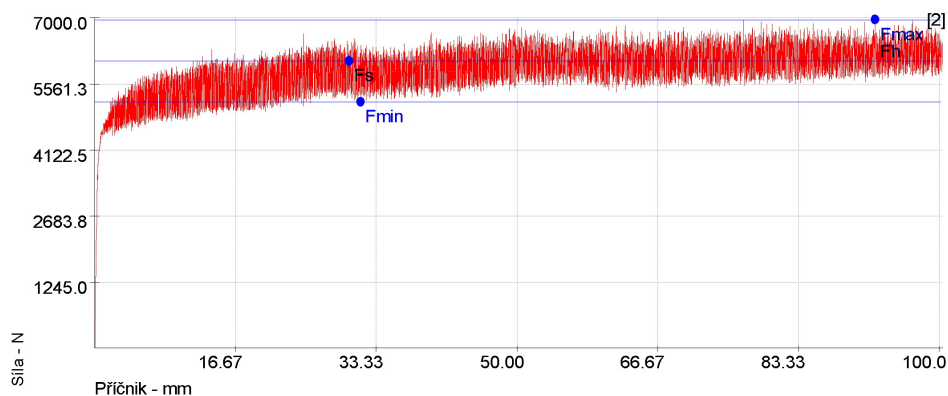
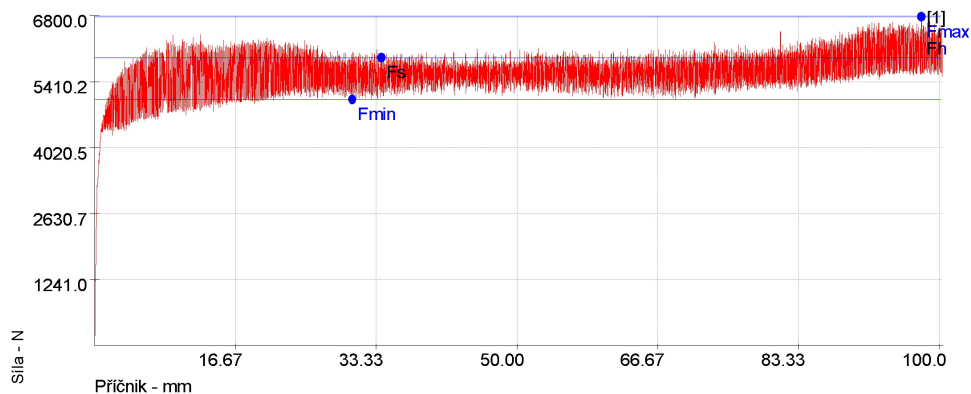
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m <sup>2</sup>	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : Ra=0,17 μm, Rz=1,82 μm, PC=2 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2379	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	6776	5906	5036	6776	1740
2	6958	6064	5170	6958	1788
x	6867	5985	5103	6867	1764
s	128.71	111.61	94.52	128.71	34.19





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

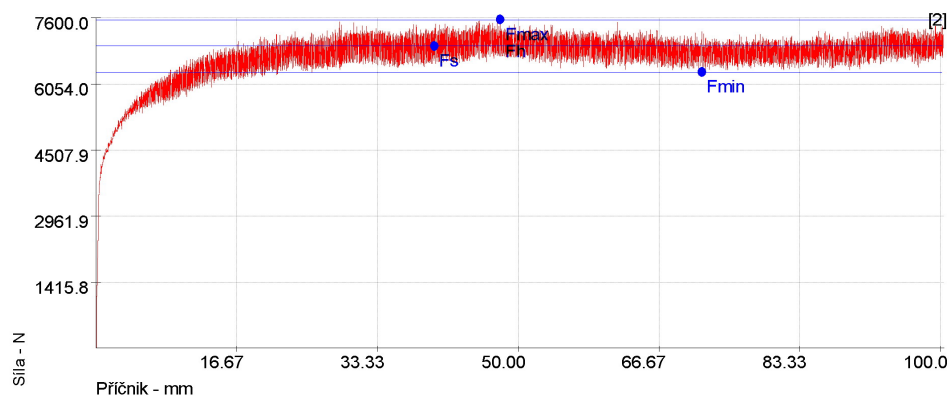
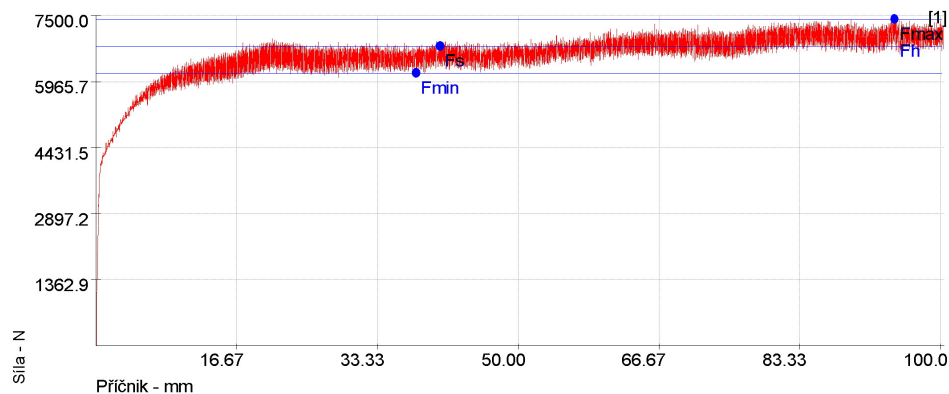
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : Ra=0,17 µm, Rz=1,82 µm, PC=2 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	100 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	7410	6787	6164	7410	1246
2	7554	6941	6329	7554	1225
x	7482	6864	6247	7482	1235
s	101.69	109.16	116.62	101.69	14.93





Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

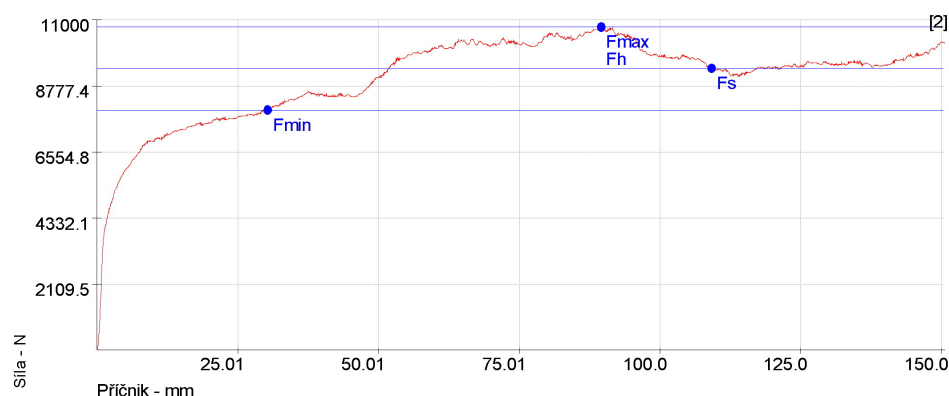
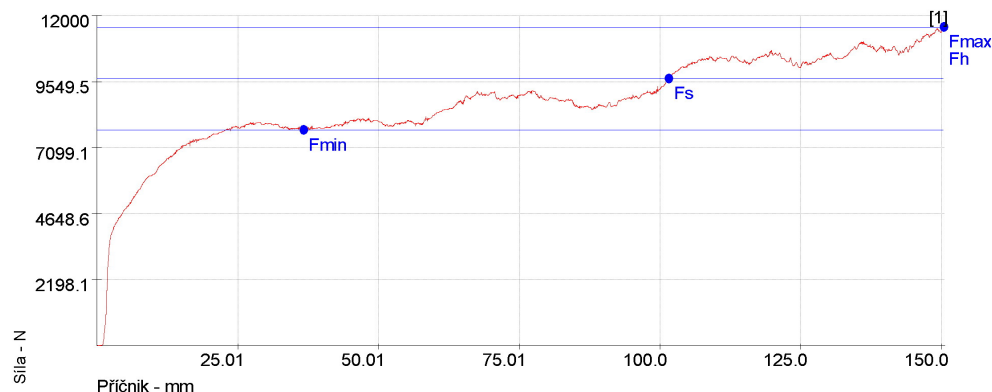
# Zkouška protahováním pásku

## Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	vzorek č.2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství maziva :	2 g/m2	Rychlost posuvu :	25 mm/s
Testovaný substrát :	ČSN 17249 - 304L	Varianta :	1B
Drsnost materiálu : $R_a=0,17 \mu\text{m}$ , $R_z=1,82 \mu\text{m}$ , $PC=2 \text{ 1/cm}$		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	DIN 1.2842	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	6 MPa	Měřená délka :	150 mm

## Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	11570	9659	7748	11570	3822
2	10750	9353	7956	10750	2794
x	11160	9506	7852	11160	3308
s	579.58	216.05	147.47	579.58	727.05



### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/200 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická universita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 23.5.2008

Podpis

### **Deklaracion**

I have been notified of the fact that Copyring Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Sction 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyrigh by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the ring to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 23.5.2008

Signature